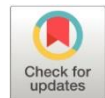


Selección y Calibración de Manómetros en Taladros de Perforación: Análisis del Impacto Económico según Normativas ISO 10012 y NTE INEN 1825

Selection and Calibration of Pressure Gauges in Drilling Rigs: Economic Impact Analysis according to ISO 10012 and NTE INEN 1825 Standards.

- 1 Sandra Elizabeth Travéz Osorio Investigador Independiente sandt197@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-4546-4541>
- 2 Jessica Patricia Chiluisa Cando Investigador Independiente jessicachiluisa817@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0001-1479-0635>
- 3 Milton Javier Robalino Cacuango Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Carrera de Petroquímica, Campus Académico General Guillermo Rodríguez Lara, Universidad de las Fuerzas Armadas—ESPE sede Latacunga, Belisario Quevedo, Latacunga, Cotopaxi 050150, Ecuador. mjrobalino1@espe.edu.ec  <https://orcid.org/0009-0005-0958-1117>
- 4 Josué Leonidas Silva Echeverría Maestrante en Ingeniería de Robótica y Automática de Università della Calabria jlseleo12@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0003-8277-8595>



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 15/03/2024

Revisado: 12/04/2024

Aceptado: 14/05/2024

Publicado: 27/06/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v6i2.2.498>

Cítese:

Trávez Osorio, S. E., Chiluisa Cando, J. P., Robalino Cacuango, M. J., & Silva Echeverría, J. L. (2024). Selección y Calibración de Manómetros en Taladros de Perforación: Análisis del Impacto Económico según Normativas ISO 10012 y NTE INEN 1825. AlfaPublicaciones, 6(2.2), 112–131. <https://doi.org/10.33262/ap.v6i2.2.498>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras

claves:

Metrología,
manómetro,
selección,
calibración,
presión.

Resumen

Introducción: En la industria del petróleo y gas, la selección precisa del manómetro para taladros de perforación garantiza la precisión en la medición de la presión, asegurando operaciones eficientes y seguras bajo estándares rigurosos. **Metodología:** Este estudio se centra en la selección y calibración de medidores para plataformas de perforación en la industria petrolera ecuatoriana. Analiza el impacto económico de mantener la calibración según las normas ISO 10012 y NTE INEN 1825, considerando los beneficios de la precisión de las mediciones y los riesgos de fallas operacionales. **Desarrollo:** En el análisis de los instrumentos de presión para equipos de perforación, se seleccionó el manómetro adecuado considerando rango de medición, precisión, repetibilidad, linealidad y condiciones ambientales. La calibración y mantenimiento regular son esenciales, cumpliendo normativas ISO 10012. Se evaluó el impacto económico de calibrar un manómetro Bourdon durante 5 años, analizando costos, mantenimiento y beneficios de eficiencia y reducción de riesgos. La proyección mostró un retorno de inversión positivo. **Resultados y análisis:** El procedimiento detalla la selección del instrumento de presión adecuado para taladros de perforación, según ISO 10012. Proyección económica basada en datos reales se evalúa la calibración de manómetros analógicos tipo Bourdon en taladros upstream. Estima ahorros en costos operativos y prolongación de vida útil, demostrando que la calibración según especificaciones técnicas reduce significativamente costos potenciales. **Conclusiones:** La selección precisa de equipos de medición conforme a normas de calidad y calibraciones regulares asegura límites de control definidos y minimiza riesgos en perforaciones. La calibración oportuna de manómetros analógicos tipo Bourdon es esencial para mantener precisión y seguridad, con ahorros anuales de \$147,000.00 frente a costos de \$129,833.33. En cinco años, los ahorros proyectados son \$735,000.00 con un ROI del 13.22%, subrayando su rentabilidad y papel crucial en la industria petrolera.

Keywords:

Metrology,
pressure gauge,
selection,

Abstract

Introduction: In the oil and gas industry, selecting the right gauge for drilling rigs ensures accurate pressure measurement, ensuring efficient and safe operations under stringent standards.

calibration,
pressure.

Methodology: This study focuses on the selection and calibration of gauges for drilling rigs in the Ecuadorian oil industry. It analyzes the economic impact of maintaining calibration according to ISO 10012 and NTE INEN 1825 standards, considering the benefits of measurement accuracy and the risks of operational failures.

Development: In the analysis of pressure instruments for drilling equipment, the appropriate manometer was selected based on measurement range, accuracy, repeatability, linearity, and environmental conditions. Regular calibration and maintenance are essential, complying with ISO 10012 and NTE INEN 1825 standards. The economic impact of calibrating a Bourdon manometer over 5 years was assessed, analyzing costs, maintenance, and benefits of efficiency and risk reduction. The projection showed a positive return on investment.

Results and Analysis: The procedure details the selection of the appropriate pressure instrument for drilling rigs, according to ISO 10012. Economic projection based on real data evaluates the calibration of Bourdon type analogue pressure gauges on upstream drilling rigs. It estimates savings in operating costs and life extension, demonstrating that calibration according to technical specifications significantly reduces potential costs. **Conclusions:** Accurate selection of quality compliant measuring equipment and regular calibration ensures defined control limits and minimises borehole risks. Timely calibration of Bourdon type analogue pressure gauges is essential to maintain accuracy and safety, with annual savings of \$147,000.00 versus costs of \$129,833.33. Over five years, the projected savings are \$735,000.00 with an ROI of 13.22%, underlining its cost-effectiveness and crucial role in the oil industry.

Introducción:

En la industria del petróleo y gas, la selección del manómetro adecuado para los taladros de perforación es crucial para asegurar la precisión en la medición de la presión y, por ende, la seguridad y eficiencia operativa. Los manómetros, como componentes fundamentales del equipo de perforación, deben cumplir con rigurosos estándares de calidad nacionales e internacionales para garantizar un rendimiento óptimo en condiciones extremas.

La economía global depende significativamente del sector Oil & Gas, proporcionando la mayor parte de la energía utilizada en el mundo. Comprender la importancia de cada etapa operativa de esta industria es esencial. En este contexto, la metrología en instrumentos de presión es vital para asegurar operaciones seguras y eficientes en la perforación y producción de hidrocarburos. Los desafíos en la medición de presión incluyen la necesidad de precisión constante y el riesgo de fallos catastróficos si los equipos no están adecuadamente calibrados. La calibración y el monitoreo continuo bajo altos estándares y normativas nacionales e internacionales de calidad son esenciales para mantener la seguridad y optimizar la eficiencia en operaciones de upstream.

La calibración de los manómetros es esencial para mantener su precisión y confiabilidad a lo largo del tiempo. Sin una calibración adecuada, los errores de medición pueden llevar a decisiones operativas incorrectas, aumentando el riesgo de fallos catastróficos y tiempos de inactividad costosos. Por otro lado, una calibración regular y meticulosa no solo prolonga la vida útil de los equipos, sino que también mejora la eficiencia operativa y reduce el riesgo de incidentes, alineándose con los estándares de calidad internacionales y nacionales.

Este estudio se centra en dos aspectos clave: primero, los criterios para elegir el manómetro más adecuado para su uso en taladros de perforación, considerando factores como la precisión, la resolución, la estabilidad y la sensibilidad del dispositivo. Segundo, se presenta un análisis económico comparativo del impacto de calibrar adecuadamente estos manómetros versus no hacerlo, tomando en cuenta los costos de calibración y mantenimiento frente a los posibles ahorros operativos y la mitigación de riesgos.

Los equipos más comunes para medir la presión incluyen manómetros digitales y analógicos, transductores de presión y sistemas de monitoreo en tiempo real. Las normas nacionales e internacionales, como la API RP 59, establecen las características que deben cumplir estos equipos y la frecuencia con la que deben ser calibrados. Los parámetros de control incluyen la precisión, la repetibilidad y la estabilidad de las mediciones.

La calibración asegura que se cumplan los parámetros estandarizados de calidad y seguridad, tanto nacionales como internacionales, durante las operaciones de perforación. Económicamente, la calibración regular de los instrumentos representa una inversión en recursos, pero incrementa la vida útil de los equipos y mejora la eficiencia operativa. En la década de 1930, las presiones se calculaban mediante niveles de fluido, y posteriormente se utilizaba la inyección de gas en el tubo hasta alcanzar una presión constante. Las primeras mediciones de presión en el fondo del pozo se realizaban con bombas de presión de lectura única y manómetros de registro máximo, que carecían de la precisión, confiabilidad y durabilidad de la tecnología moderna.

El objetivo de este estudio es, presentar el proceso de selección de manómetros adecuados para taladros de perforación y evaluar el impacto económico del mantenimiento de su calibración, conforme especificaciones técnicas de la ISO 10012 y NTE INEN 1825.

La metrología juega un papel crucial en la industria del petróleo y gas, especialmente en lo que respecta a los instrumentos de medición de presión. La adquisición de datos de presión en el fondo de pozo puede planificarse y ejecutarse de manera rentable con una interrupción mínima de las rutinas operativas normales. La interpretación temprana de estos datos in situ es fundamental para guiar las decisiones sobre la continuación del programa de adquisiciones, asegurando la precisión y confiabilidad de las mediciones de presión.

Metodología

La investigación se llevará a cabo en las zonas de extracción de crudo del Ecuador, enfocándose en las fases upstream de perforación y producción, con especial énfasis en la medición de presión durante las operaciones de perforación. Este entorno operativo en el sector petrolero ecuatoriano servirá como escenario para el análisis propuesto.

El objetivo de este estudio es, presentar el proceso de selección de manómetros adecuados para taladros de perforación y evaluar el impacto económico del mantenimiento de su calibración, conforme especificaciones técnicas de la ISO 10012 y NTE INEN 1825.

El análisis presentado se fundamenta en la integración de la vasta experiencia de los autores y profesionales del sector, complementada por una exhaustiva revisión de la literatura relevante. Este enfoque integral ha permitido abordar el tema desde una perspectiva realista, facilitando una comprensión profunda y multifacética del impacto de la metrología en la industria del oil & gas ecuatoriano. La combinación del conocimiento práctico y teórico ha sido clave para generar una visión completa y aplicable.

La calibración de instrumentos de presión en la industria petrolera ecuatoriana es crucial para la optimización de las operaciones y el cumplimiento de las normativas de seguridad y calidad nacionales e internacionales. Los manómetros y otros dispositivos de medición, al ser calibrados periódicamente, garantizan la exactitud de las mediciones, lo cual es esencial para mantener los estándares operativos exigidos por las regulaciones según la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNR) (Controllab, 2024). Instrumentos como los manómetros de tubo Bourdon y los transmisores de presión diferencial son fundamentales para evitar errores que puedan derivar en fallos operativos costosos o peligrosos (Controllab, 2024); (Acedo Sánchez, 2013).

Económicamente, la calibración regular representa una inversión inicial que se traduce en ahorros a largo plazo (Coremberg, 2019). Este proceso incrementa la durabilidad de

los equipos, disminuye el riesgo de accidentes y fallos operativos, y previene paradas imprevistas en la producción, beneficiando a las empresas con mayor eficiencia y menores costos relacionados con la ineficiencia y los daños a equipos costosos (Clemente Mendoza & Martínez Gamarra, 2020) . Además, el cumplimiento de normativas nacionales y estándares internacionales, como la ISO 9001, API RP 59, es vital para mantener la competitividad y evitar sanciones regulatorias, contribuyendo al desarrollo sostenible de la industria petrolera en Ecuador.

Este estudio cualitativo y cuantitativo se enfocará en la comparación de costos y beneficios económicos y de cumplimiento normativo asociados a la calibración o ausencia de esta en instrumentos de medición de presión en la industria petrolera en Ecuador.

La investigación se basará en una revisión bibliográfica exhaustiva, considerando la Norma API RP 59 Recommended Practice for Well Control Operations para estándares de la industria y la selección del tipo de exactitud de los instrumentos de presión según especificaciones técnicas de la ISO 10012 y la norma NTE INEN 1825. Este enfoque garantizará que los datos recopilados sean precisos y pertinentes para el análisis cualitativo.

Se tiene fuentes primarias y secundarias para obtener una visión integral y fundamentada del impacto de la calibración de instrumentos de presión en el proceso de extracción de crudo. Según la información proporcionada, la metodología de este estudio se basa en la recopilación de datos de diversas fuentes. Se realizaron entrevistas a expertos en la industria petrolera ecuatoriana para obtener información primaria. Por otro lado, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con la calibración de instrumentos de medición de presión, incluyendo normas como la ISO 10012, API RP 59 y la NTE INEN 1825. Adicionalmente, se hizo uso de informes internos de empresas petroleras que operan en Ecuador, aunque por razones de confidencialidad no se revelarán los nombres de dichas compañías.

Procedimientos de Análisis de información

Análisis 1: Elección de instrumento de presión adecuado para equipo de taladro de perforación.

Para seleccionar el equipo de medición adecuado para su implementación en el proceso de perforación, es fundamental considerar lo siguiente:

Tabla 1

Elección de instrumento de presión adecuado para equipo de taladro de perforación.

Consideración	Descripción	Según
¿Qué magnitud se requiere medir?	Saber qué magnitud específica de presión es crítica para el control del proceso de perforación.	
¿Cuál es el rango de trabajo óptimo?	Se debe definir el rango de presión dentro del cual el instrumento de medición debe operar de manera efectiva y precisa.	ISO 10012
¿Cuál es el error máximo permisible?	Establecer el margen de error máximo aceptable para garantizar mediciones confiables y precisas.	
¿Qué tan precisa y exacta deben ser la medición?	Evaluar los niveles de precisión y exactitud necesarios para las mediciones, considerando la criticidad de las operaciones de perforación.	

El proceso de medición debe contemplar aspectos como la trazabilidad de las mediciones, correcciones aplicadas y no aplicadas, condiciones ambientales de operación, métodos de medición y la capacitación del personal encargado de realizar las mediciones. Para determinar la Capacidad de Medición Requerida (CMR) para una aplicación específica, es fundamental considerar requisitos normativos, legales, técnicos y de control estadístico. Según Metas & Metrólogos Asociados (2005), existe un método para calcular la CMR a partir de los requisitos de control estadístico.

Dado que los taladros de perforación operan típicamente con presiones en torno a 3500 psi, se recomienda seleccionar equipos de medición con una capacidad de medida que sea al menos un cuarto superior al valor máximo de medición esperado, basado en consideraciones generales y experiencia práctica en la industria.

Una vez seleccionado adecuadamente el equipo de medición, se procede con el análisis siguiente, el cual implica la integración y el desempeño del instrumento dentro del proceso de perforación.

Análisis 2: Estudio del impacto económico de calibración en manómetro analógico tipo Bourdon para equipo de taladro de perforación

Para llevar a cabo un análisis cuantitativo de un instrumento de presión, se hizo una proyección económica de la calibración del manómetro analógico del tipo bourdon, el cual es parte equipo de perforación de upstream en la industria del petróleo y gas, se recopilaron datos clave sobre los costos iniciales y recurrentes asociados con la calibración, el mantenimiento y el reemplazo de estos equipos de acorde al mercado petrolero ecuatoriano a la fecha de realización de este estudio. Se evaluó la frecuencia de calibración, estándares de funcionamiento del equipo según el error máximo permisible según especificaciones técnicas de la ISO 10012 y la norma NTE INEN 1825 y. Además, se analizaron los beneficios económicos derivados de la calibración regular, incluyendo el ahorro en costos operativos, la extensión de la vida útil de los equipos y la reducción de riesgos de fallos catastróficos en campo. Utilizando estos datos, se realizaron cálculos anuales para determinar los costos y ahorros, proyectando estos valores a un horizonte de cinco años. Conjuntamente, se realizó el cálculo del Retorno de Inversión (ROI), proporcionando una visión integral de los impactos económicos de la calibración regular en las operaciones de perforación.

La presentación de resultados del análisis cuantitativo y cualitativo, descritos de forma clara y detallada de los resultados se presentó en la sección correspondiente. En cuanto a consideraciones éticas, se aseguró por parte de los profesionales que realizaron este estudio de la confidencialidad y anonimato de los participantes y empresas involucradas.

Ah es una estructura del desarrollo de un artículo científico en el que se analiza o el escenario uno de una proyección con 5 años con ROI de los costos beneficios que tendría calibrar un manómetro analógico de tipo bourdon en cuestiones económicas y lo que influiría no hacerlo el escenario 2 es analizar el impacto económico que tendría que un manómetro analítico bourdon o sea el mismo el mismo manómetro analizado en el escenario uno pero este esté manómetro va a estar trabajando ya dentro de lo que es el equipo de perforación en un pozo en un campo de explotación petrolera el impacto económico obviamente sería mucho mayor en este escenario aunque debido a las regulaciones y altos estándares de calidad este escenario sería menos posible que pase pero siempre hay que prevenir estos casos entonces quiero que se vea un análisis económico de que pasaría si por no calibrar el manómetro habría que parar la producción y esos costos son muy muy altos en la industria de petróleo y gas

Desarrollo

Inicialmente, las calibraciones de equipos de presión se realizaban exclusivamente en laboratorios o centros especializados autorizados. Actualmente en Ecuador es posible llevar a cabo calibraciones en el sitio donde están ubicados los equipos, lo que evita el

cese o paro de las actividades operativas. Desde los inicios de la humanidad, la medición y comparación han sido esenciales. Se desarrollaron medidas antropométricas basadas en partes del cuerpo humano, como el brazo, el pie, la pulgada y la yarda. Algunas de estas medidas, como la pulgada y el pie, todavía se utilizan en la actualidad.

La industrialización ha generado la necesidad de equipos precisos que permitan controlar procesos y tomar decisiones informadas. En la industria del petróleo y gas, la calibración de equipos de presión es crucial para garantizar la precisión y confiabilidad en las operaciones.

Upstream

El término "upstream" en la industria del petróleo se refiere a las actividades de exploración, desarrollo y producción de recursos de hidrocarburos, que incluyen estudios geofísicos para la identificación de reservorios potenciales, la perforación y terminación de pozos, así como la extracción inicial de petróleo crudo y gas natural. Este sector desempeña un papel fundamental en la búsqueda y explotación eficiente de reservas energéticas, garantizando un suministro confiable a nivel global y proporcionando beneficios económicos significativos mediante la generación de empleo e ingresos gubernamentales y corporativos (Oiltanking, 2024).

Para este proceso, la adquisición de datos de presión en el fondo de pozo es crucial, ya que se puede planificar y ejecutar de manera rentable con una interrupción mínima de las rutinas operativas normales. La interpretación temprana in situ es útil para guiar las decisiones sobre la continuación del programa perforación.

Presión

La presión desempeña un papel crucial en la industria del petróleo y gas, siendo vigilada meticulosamente a lo largo de todas las etapas operativas. Durante la fase de perforación, la seguridad del pozo se asegura mediante el uso de sensores de presión. En el transporte y almacenamiento, se garantiza la integridad de los oleoductos y tanques mediante el monitoreo preciso de la presión. En las refinerías, se regula con precisión para optimizar procesos críticos como la destilación. La exactitud en la medición de la presión es fundamental para salvaguardar tanto la seguridad como la eficiencia operativa (Simplemente MideBien, 2024).

Según PetroWiki SPE International, (2024) la presión es el parámetro más controlado en la industria de procesos para este control de utiliza equipos como manómetros digitales y analógicos. Los sensores de Presión tienen altos niveles de precisión y a su construcción normalmente es más robusta, la elección de uno u otro dependerá de los parámetros metrológicos estáticos y dinámicos estos componentes influyen de manera única en la calidad de la medición tales como, los mencionados a continuación.

Metrología

La metrología, disciplina fundamental en la ciencia de las mediciones, engloba tanto los aspectos teóricos como prácticos sin discriminación por la incertidumbre de medida o el campo de aplicación. Sus metas principales incluyen el establecimiento de patrones de medida, la correcta aplicación de sistemas de verificación, y la obtención precisa y expresión de magnitudes empleando herramientas y métodos adecuados. Dividida en metrología legal, industrial y científica, garantiza la comparabilidad internacional de mediciones y la calidad de los productos (Instituto Dominicano para la Calidad, 2024).

Magnitud

En la industria del Oil & Gas, la magnitud se refiere a la medida cuantitativa del tamaño, dimensión o importancia de variables críticas como la producción, reservas y eficiencia operativa. En este contexto, las magnitudes físicas incluyen parámetros como la presión, temperatura y volumen de hidrocarburos extraídos, fundamentales para la evaluación y optimización de procesos. Estas mediciones son esenciales para garantizar la seguridad operativa y la rentabilidad en la exploración, perforación y producción de recursos energéticos (KSB Ecuador S.A, 2021).

Parámetros metrologicos estáticos

Rango del equipo

El rango del equipo se define como el intervalo de valores dentro del cual un instrumento de medición puede operar de manera precisa y confiable (Bedoya et al., 2016); es decir es la capacidad de medida que tiene el equipo. Por ejemplo 1 000 psi, 5 000 psi, 10 000 psi.

Exactitud, Resolución, Estabilidad y Sensibilidad

La exactitud en la medición de presión se define como el máximo error indicado por el transductor bajo condiciones específicas como el error de ajuste, histéresis y repetibilidad (PetroWiki SPE International,2024). El mismo autor sigue que la resolución corresponde al menor cambio de presión detectado por el sensor. Por otro lado, la estabilidad de un sensor se evalúa por su capacidad para mantener sus características de rendimiento a lo largo del tiempo, medida a través de la deriva media del sensor (Moro, 2000). La sensibilidad se refiere a la relación entre la variación de la salida del transductor debido a un cambio en la presión aplicada, representada como la pendiente en el gráfico de salida versus entrada de presión (PetroWiki SPE International, 2024).

Parámetros metrológicos dinámicos

Respuesta Transitoria durante la Variación de Temperatura y Respuesta Transitoria durante la Variación de Presión

La respuesta del sensor se supervisa en condiciones donde la temperatura varía dinámicamente, mientras que la presión aplicada permanece constante. Mientras que la Respuesta Transitoria durante la Variación de Presión es La respuesta del sensor se mide antes y después de una variación de presión, manteniendo la temperatura constante (PetroWiki SPE International, 2024).

Respuesta Dinámica durante Choques de Presión y Temperatura. Calibración y evaluación de estándares para manómetro

La respuesta del sensor se registra antes y después de un cambio brusco de temperatura, así como en condiciones de choques de presión. La calibración y evaluación de estándares para manómetro es esencial para determinar las desviaciones que presenta el manómetro en el momento y condiciones de prueba, a estas desviaciones esta adjunto un parámetro no negativo conocido como incertidumbre, es importante que la calibración sea en todo el rango del equipo y distribuir los puntos de calibración en una rutina de tiempo programada (PetroWiki SPE International, 2024).

Equipos que medición de Presión

En la industria Oil & gas, los equipos de medición de presión como manómetros monitorean la presión en válvulas y tanques, mientras que los transductores convierten la presión en señales eléctricas para sistemas SCADA. Los sensores de presión diferencial permiten medir el flujo y nivel en tuberías. La precisión y cumplimiento de estándares son críticos para asegurar operaciones confiables (PetroWiki SPE International, 2024); (Negrón, 2019).

Calibración

La calibración es esencial en la industria del petróleo y gas para asegurar la precisión y confiabilidad de las mediciones. En la exploración, transporte, almacenamiento y refinerías, calibrar sensores de presión, temperatura y caudal es vital para la seguridad y eficiencia operativa. Incluso en la distribución final, garantiza el cumplimiento normativo. Equipos especializados aseguran la precisión necesaria, siendo la calibración periódica crucial para la calidad y seguridad en toda la cadena de valor (LACE Calibración Especializada, 2024).

Procedimientos de Análisis de información

Análisis 1: Elección de instrumento de presión adecuado para equipo de taladro de perforación

Se Identificó qué tipo de equipo es adecuado de entre estos puede ser un manómetro analógico, un manómetro digital, transductor de presión entre otros y este equipo debió presentar las siguientes características

Rango de Medición. Es el intervalo de presiones que el manómetro puede medir con precisión. Se eligió un manómetro cuyo rango sea adecuado para la presión que se espera medir, idealmente entre el 30% y el 70% de su capacidad máxima para obtener mejores resultados.

Precisión. La precisión de un manómetro que viene expresado como un porcentaje del rango de escala completa Full Scale. Por ejemplo, un manómetro con una precisión de $\pm 1\%$ F.S.

Repetibilidad y Linealidad. Se consideró que la repetibilidad es la capacidad del manómetro para dar el mismo valor bajo condiciones de medición idénticas y que la Linealidad es el grado en el que la respuesta del manómetro es proporcional a la presión aplicada.

Condiciones Ambientales. Se evaluó las condiciones ambientales donde se utilizará el manómetro, como la temperatura, la humedad, la presencia de vibraciones, polvo y otros factores que pueden afectar la precisión y el funcionamiento del instrumento.

Calibración y Mantenimiento. Se aseguró que el manómetro esté correctamente calibrado antes de su uso y seguir un plan de mantenimiento regular para mantener su precisión. En Ecuador la calibración debe realizarse en un laboratorio acreditado, esta sección de detalla más a fondo a continuación.

Normativas y Certificaciones

Verificar que el manómetro cumpla con las normativas y certificaciones aplicables, como ISO, ASTM, o normas locales de metrología. Para el proceso de medición debe considerar: la trazabilidad de las mediciones, correcciones aplicadas y no aplicadas, condiciones ambientales de operación, métodos de medición y personal que lleva a cabo las operaciones de medición. Respecto a la capacidad de medición requerida CMR por una aplicación específica, esta debe determinarse considerando al menos cuatro diferentes fuentes: requisitos normativos, requisitos legales, requisitos técnicos y requisitos de control estadístico. Un método para determinar la capacidad de medición requerida CMR a partir de los requisitos del control estadístico (Metas & Metrólogos Asociados, 2005).

Análisis 2: Estudio del impacto económico de calibración en manómetro analógico tipo Bourdon para equipo de taladro de perforación

Se analizó el impacto económico de calibrar o no hacerlo con una proyección a 5 años. El análisis presentado en esta sección se basó en valores vigentes en el mercado petrolero ecuatoriano al momento de realizar el estudio. Se enfocan específicamente en el manómetro analógico tipo Bourdon, comúnmente utilizado en los taladros de perforación de la fase upstream en la industria, antes de su ingreso a campo.

Los datos utilizados en estos análisis fueron proporcionados por profesionales de la industria del petróleo y gas en Ecuador, específicamente por expertos que trabajan en empresas de metrología en el sector hidrocarburífero. Esta información permitió realizar una proyección económica a cinco años, considerando los costos y beneficios de mantener una calibración regular de los instrumentos de medición de presión.

Tabla 2

Datos de metrología para manómetro analógico tipo Bourdon

Descripción	Unidad de medida	Cantidad
Número de equipos estimado	Unidad	50
Costo por calibración por equipo	\$	50
Frecuencia de calibración	veces al año	1
Costos de mantenimiento por equipo por año	\$*equipo*año	2500
Costo de reemplazo	\$*equipo	140
Vida útil sin calibración	años	1
Vida útil con calibración	años	3
Ahorro en eficiencia	\$*equipo*año	140
Reducción de riesgos	\$*equipo*año	300

Nota: La vida útil con y sin calibración es el error máximo permisible según especificaciones técnicas de la ISO 10012 y la norma NTE INEN 1825 exclusivamente para instrumentos de medición de presión.

Costos Iniciales y Recurrentes

Se incluyeron los costos de calibración, que comprenden el costo por calibración de cada equipo, y se determinó la frecuencia de calibración, especificando cuántas veces al año se calibra cada equipo bajo el error máximo permisible especificaciones técnicas de la ISO 10012 y la norma NTE INEN 1825. Además, se consideraron los costos de

mantenimiento y reemplazo, incluyendo tanto el mantenimiento regular como el reemplazo de equipos cuando sea necesario.

Datos Operativos

Se recopiló información detallada sobre el número de equipos en uso, se estimó la vida útil de estos manómetros tanto con calibración regular como sin ella según especificaciones técnicas de la ISO 10012 y la norma NTE INEN 1825, se analizó el impacto de la calibración en la eficiencia operativa y en la reducción de tiempos de inactividad.

Cálculos por año

$$\text{Calibración anual} = \text{NE} * \text{CCE} * \text{FC} \quad ;)$$

$$\text{Mantenimiento y reemplazo anual} = \text{NE} * \left[\text{CM} + \left(\frac{\text{CRE}}{\text{VUCC}} \right) \right] \quad ;)$$

Donde;

CA es Calibración anual

NE es Número de equipos

CCE es Costo de calibración por equipo

FC es Frecuencia de calibración

MRA es Mantenimiento y Reemplazo Anual

CM es Costos de Mantenimiento

CRE es Costo de Reemplazo por Equipo

VUCC es Vida útil con calibración

Ahorros anuales

$$\text{Eficiencia} = \text{NE} * \text{AE} \quad ;)$$

$$\text{Vida útil} = \left(\frac{\text{FC}}{\text{VUSC}} \right) * \text{CRE} * \text{NE} \quad ;)$$

$$\text{Reducción de riesgo} = \text{NE} * \text{RR} \quad ;)$$

Donde;

E es Eficiencia

AE es Ahorro en Eficiencia

VUSC Vida útil Sin calibración

RR es Reducción de riesgo

Proyección y Retorno de inversión (ROI) para 5 Años

En este cálculo todas las proyecciones serán para 5 años

$$\text{Costos acumulados} = P * (CA + MRA) \quad \text{i)}$$

$$\text{Ahorros acumulados} = P * (E + \mu + RR) \quad \text{ii)}$$

$$ROI = \frac{\text{Ahorros acumulados} - \alpha}{\alpha} * 100 \% \quad \text{iii)}$$

Donde;

α es Costos acumulados

P es Proyección

μ es Vida Útil

Resultados y análisis

Análisis 1: Elección de instrumento de presión adecuado para equipo de taladro de perforación.

Ya que esta sección del estudio se basa en un análisis bibliográfico detallado y entrevistas confidenciales, que proporcionan datos técnicos fundamentados en experiencias prácticas y evidencia objetiva recopilada durante la investigación. Debido a la naturaleza del enfoque metodológico, no se dispone de un conjunto de datos para ser expuesto al ente público. No obstante, desde el punto de vista holístico y especificaciones técnicas de la ISO 10012 y la norma NTE INEN 1825 el procedimiento presentado permitirá elección de instrumento de presión adecuado para equipo de taladro de perforación.

Análisis 2: Estudio del impacto económico de calibración en manómetro analógico tipo Bourdon para equipo de taladro de perforación

La proyección económica realizada a partir de datos reales en el mercado petrolero ecuatoriano muestra una evaluación detallada de los costos y beneficios asociados con la calibración de manómetros analógicos tipo Bourdon, a ser utilizados en los taladros de perforación de la fase upstream.

Beneficios Económicos

Se estimó el ahorro en costos operativos, debido a una mayor precisión y reducción de errores, y se calculó la extensión de la vida útil de los equipos gracias a la calibración regular. También se cuantificó la reducción en el riesgo de fallos catastróficos y los costos asociados

Tabla 3

Resultados de cálculos de formula (1) y (2)

Cálculos anuales	Cantidad
Calibración anual	\$ 2.500,00
Mantenimiento y reemplazo anual	\$ 127.333,33

El costo de calibración anual para 50 instrumentos de presión rondaría los 2500 USD, no obstante, el mantenimiento y reemplazo anual del mismo número de estos equipos sería de \$ 127 333.

Tabla 4

Resultados de cálculos de formula (3), (4) y (5)

Ahorros anuales	Cantidad
Eficiencia	\$ 7.000,00
Vida útil	\$ 125.000,00
Reducción de riesgos	\$ 15.000,00

Para 50 manómetros analógicos tipo Bourdon que se les calibro según el error máximo permisible según especificaciones técnicas de la ISO 10012 y la norma NTE INEN 1825 una vez por año, en el ahorro anual en eficiencia sería de 7000 USD, el capital salvado total en vida útil de estos equipos sería de 125000 USD de igual forma la reducción de riesgos en términos económicos al año sería de 15000 USD.

Tabla 5*Resultados de cálculos de formula (6), (7) y (8)*

Proyección	Cantidad
Costos acumulados	\$ 649.166,67
Ahorros acumulados	\$ 735.000,00
ROI	13,22 %

Nota: Cálculos hechos en base a un a una proyección futura de 5 años

Los costos acumulados a lo largo del período de proyección ascienden a \$649,166.67. Estos costos incluyen la suma de todos los gastos relacionados con la calibración de los equipos, así como los costos recurrentes de mantenimiento y demás. Por otro lado, los ahorros acumulados proyectados alcanzan los \$735,000.00. Estos ahorros se derivan de varios factores clave ahorro en costos operativos, incremento en la vida útil de los equipos y reducción de riesgos, de modo que la calibración precisa y bajo especificaciones técnicas de ISO 10012 y la norma NTE INEN 1825, reduce el riesgo de fallos catastróficos, evitando los costos significativos que podrían surgir de estos incidentes.

El ROI es del 13.22%, indicativo de beneficios económicos obtenidos de la calibración regular de los manómetros analógicos tipo Bourdon, lo que sugiere que, por cada dólar invertido en la calibración y mantenimiento de estos equipos, se obtiene un retorno adicional de 13.22 USD. Esto refleja una inversión rentable y justifica la práctica de calibración regular desde una perspectiva económica.

Conclusiones

- La selección precisa del equipo de medición conforme a normas de calidad, junto con calibraciones regulares, asegura límites de control definidos y minimiza riesgos en operaciones de perforación. Tanto equipos analógicos como digitales deben cumplir con requisitos metrológicos específicos para garantizar su idoneidad. La calibración oportuna permite detectar problemas y condiciones anómalas, facilitando respuestas rápidas y efectivas para mitigar riesgos
- La interpretación de resultados de análisis 2 revela que la calibración regular de los manómetros analógicos tipo Bourdon no solo es una práctica esencial para mantener la precisión y seguridad en las operaciones de perforación, ya que la proyección económica basada en datos del mercado petrolero ecuatoriano evidencia los costos y beneficios de calibrar manómetros analógicos tipo Bourdon en taladros de perforación upstream, ya que los ahorros anuales en eficiencia, vida útil y reducción de riesgos suman \$147,000.00 frente a costos de \$129,833.33. En cinco años, los costos acumulados alcanzan \$649,166.67, mientras los ahorros

proyectados son \$735,000.00, resultando en un ROI del 13.22%. Estos resultados subrayan la rentabilidad de la calibración regular, destacando su papel crucial en la precisión, reducción de errores y mitigación de riesgos operativos en la industria petrolera.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

Referencias Bibliográficas

Acedo Sánchez, J. (2013). *Instrumentación y control básico de procesos*. España: Editorial Díaz de Santos, S.A..

https://www.google.com.ec/books/edition/Instrumentaci%C3%B3n_y_control_b%C3%A1sico_de_pr/eTbkjZzCe74C?hl=es-419&gbpv=1

American Petroleum Institute. (2006). *API Recommended Practice 59: Recommended Practice for Well Control Operations* (2nd ed.)

Bedoya Cardona N., Yepes Mejía O., Giraldo L. F., Palacio J. A., Restrepo Díaz J. (2016). *Guías prácticas para la calibración de instrumentos de medición*. Instituto Tecnológico Metropolitano.

https://www.google.com.ec/books/edition/Gu%C3%ADas_pr%C3%A1cticas_para_la_calibraci%C3%B3n_d/TBQ4DwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0

Clemente Mendoza, M. C., & Martínez Gamarra, J. D. (2020). Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad de las maquinarias pesadas en la empresa Grupo Señor de Pomallucay SRL, Huaraz-2020. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57945>

Controllab. (23 de junio de 2024). *Control de Calidad*. Obtenido de <https://controllab.com/es/categoria/control-de-calidad/>

Coremberg, A. (2019). Vaca Muerta: Mitos y Realidades. *Desarrollo Económico*, 59(228), 213–250. <https://www.jstor.org/stable/26902775>

Instituto Dominicano para La Calidad. (23 de junio de 2024). *Metrología*. Obtenido de <https://indocal.gob.do/areas-tecnicas/metrologia/concepto-y-clasificacion/>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2017). Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1825: Instrumentos de medición de presión - Requisitos y especificaciones.

ISO. (2019). ISO 10012:2019 Quality assurance – Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment. International Organization for Standardization.

KSB Ecuador S.A. (23 de junio de 2024). *Operaciones de las aplicaciones de petróleo y gas*. Obtenido de <https://www.ksb.com/es-ec/aplicaciones/industria-petroleo-y-gas>

Lace Calibración Especializada. (23 de junio de 2024). *Oil & Gas*. Obtenido de <https://lacecalibracion.com/oil-gas>

Metas & Metrólogos Asociados. (2005). CONFIRMACIÓN METROLÓGICA El proceso de confirmación metrológica de instrumentos de medición en laboratorios e industria. *III Congreso Iberoamericano de Laboratorios*, 03. https://www.metas.com.mx/guia_metas/archivos/La-Guia-MetAs-05-03-Confirmacion-Metrologica.pdf

Moro Piñeiro, M. (2000). *Metrología*. España: Universidad de Oviedo. <https://www.google.com.ec/books/edition/Metrolog%C3%ADa/9ebXd5nzyKAC?hl=es-419&gbpv=1&dq=metrologia+Estabilidad&pg=PA42&printsec=frontcover>

Negrón, D. (2019). *Estudio y mejora en el diseño de un sistema de detección de fugas y SCADA en oleoductos de Refinería Talara* [Tesis de Máster, Universidad de Piura]. Repositorio institucional de la Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/4080>

Oiltanking. (23 de junio de 2024). *Upstream*. Obtenido de <https://www.oiltanking.com/es/publicaciones/glosario/upstream.html>

PetroWiki SPE International. (24 de junio de 2024). *Acquiring bottomhole pressure and temperature data*. Obtenido de https://petrowiki.spe.org/Acquiring_bottomhole_pressure_and_temperature_data#Evaluating_requirements

PetroWiki SPE International. (24 de junio de 2024). *Bottomhole pressure and temperature gauges*. Obtenido de https://petrowiki.spe.org/Bottomhole_pressure_and_temperature_gauges

Simplemente MideBien. (23 de junio de 2024). *Medición de presión en el casing y tubería en la extracción de petróleo*. Obtenido de <https://midebien.com/medicion-de-presion-en-el-casing-y-tuberia-en-la-extraccion-de-petroleo/>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.

