

Sres.

Superintendencia de Industria y Comercio Dirección de Nuevas Creaciones

E. S. D

Re: Expediente No. NC2022/0011609

Solicitud de patente de invención titulada: “PROCESO IMPLEMENTADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN DE PETRÓLEO”

Solicitantes: UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR

RESPUESTA AL OFICIO No. 20697 de 24 de noviembre de 2025

(PRIMER EXAMEN DE FONDO)

FREDY SÁNCHEZ MERINO, mayor de edad y vecino de Barranquilla, identificado tal como aparece al pie de mi firma, en mi carácter de apoderado de las instituciones solicitantes, me permito manifestar lo siguiente ante el auto emanado por ese Despacho, dentro del plazo legal previsto en el artículo 45 de la Decisión 486, en los siguientes términos:

1. Nos permitimos dar respuesta al Oficio No. 20697 de 24 de noviembre de 2025, dentro del término legal establecido. En atención a las observaciones formuladas por la Dirección de Nuevas Creaciones en relación con la claridad, suficiencia descriptiva y precisión del capítulo reivindicatorio, el solicitante ha procedido a presentar una versión enmendada de la solicitud, con el fin de garantizar su plena correspondencia con la descripción y asegurar el cumplimiento de lo dispuesto en los artículos 28 y 30 de la Decisión 486 de 2000.

En la versión enmendada, la reivindicación independiente ha sido reorganizada y reformulada de manera integral, precisa y técnicamente coherente, eliminando términos relativos y sustituyéndolos por parámetros técnicos concretos que definen el método para la detección de petróleo objeto de la invención. Esta reorganización responde a la necesidad de reflejar con mayor claridad la secuencia lógica y funcional de las operaciones técnicas involucradas, especialmente en lo relativo al procesamiento mediante inteligencia artificial, evitando dispersiones y eliminando ambigüedades en la definición del alcance de la protección solicitada.

De manera particular, la nueva redacción del capítulo reivindicatorio define con mayor precisión la sucesión de etapas relativas a la recolección de señales mediante láser de cascada cuántica, la normalización de vectores para eliminar la varianza por distancia, la reducción de dimensionalidad mediante análisis de componentes principales y el procesamiento multiensamble que integra modelos de soporte de vectores, cuadrados parciales mínimos y redes neuronales multicapa. Con ello, se refuerza la comprensión objetiva del método reivindicado y la relación funcional existente entre la captura de datos en campo y el pronóstico inmediato del porcentaje de hidrocarburos, sin alterar la naturaleza técnica de la invención originalmente divulgada.

Las reivindicaciones dependientes han sido igualmente ajustadas con el propósito de expresar las características técnicas adicionales mediante configuraciones concretas de la arquitectura de la red neuronal y los nodos que la componen, evitando la formulación de resultados técnicos como si se tratara de características autónomas. De este modo, se preserva la claridad exigida por el artículo 30 de la Decisión 486 y se mantiene una delimitación precisa del objeto protegido.

Paralelamente, se ha procedido a fortalecer y reorganizar el capítulo descriptivo de la solicitud, incorporando las secciones de sector tecnológico, tecnología anterior, mejor manera conocida de ejecutar la invención y aplicación industrial, con el fin de asegurar que la divulgación permita a una persona normalmente versada en la materia ejecutar el método de manera reproducible. Estas modificaciones no implican la incorporación de nueva materia, sino que consisten exclusivamente en la precisión y sistematización de la información técnica sobre el uso del láser QCL y los algoritmos de IA que ya se encontraba contenida en la descripción originalmente presentada, en estricto cumplimiento de la prohibición de ampliación establecida en el artículo 34 de la normativa comunitaria.

2. En cuanto a los ajustes introducidos, se deja constancia de que ninguno de ellos implica la incorporación de materia adicional ni excede el contenido originalmente divulgado, en estricto cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 34 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina. En particular, se armonizó la redacción general de la memoria descriptiva con el fin de precisar la secuencia técnica del método propuesto, incluyendo las etapas de recolección de señales espectroscópicas en suelo, el procesamiento de datos mediante normalización de vectores y el análisis multiensamble por inteligencia artificial para la determinación de la presencia y el porcentaje de petróleo en la matriz. Asimismo, se clarificaron los parámetros operativos asociados al análisis multivariable, a la reducción de dimensionalidad mediante componentes principales y a la arquitectura de la red neuronal multicapa, todos ellos ya descritos en la versión inicial de la solicitud.

De igual forma, se ajustó la redacción de las reivindicaciones dependientes con el propósito de asegurar su plena correspondencia con la descripción, precisando el carácter preferente de determinadas modalidades de ejecución (como el uso del láser de cascada cuántica (QCL), la implementación de modelos de cuadrados parciales mínimos acoplados a clasificación discriminante (PLS-DA), el empleo de máquinas de soporte de vectores (SVM) y la ejecución del procesamiento de datos en un servidor en la nube) sin alterar en ningún caso el alcance técnico originalmente divulgado.

Estas modificaciones constituyen ajustes meramente aclaratorios y de orden sistemático, destinados a mejorar la claridad reivindicatoria, la suficiencia descriptiva y la coherencia interna de la solicitud, sin modificar la naturaleza, finalidad ni alcance técnico de la invención. En consecuencia, el contenido del expediente subsanado se mantiene plenamente dentro del marco normativo aplicable y respeta de manera estricta las limitaciones establecidas por el artículo 34 de la Decisión 486 de la Comunidad Andina.

En este contexto, y frente a la observación formulada por la Oficina en relación con la necesidad de sustituir términos relativos por rangos o valores concretos, resulta necesario abordar el alcance jurídico de las modificaciones admisibles durante el trámite. Si bien el solicitante ha procedido a precisar el capítulo reivindicatorio mediante la inclusión de elementos técnicos específicos como el láser QCL y los algoritmos de optimización Adam, no toda aclaración puede satisfacerse mediante la incorporación de nuevos parámetros numéricos que no hayan sido previstos inicialmente. A

continuación, se expone el marco jurídico aplicable a la imposibilidad de introducir valores o rangos no divulgados originalmente, conforme a lo dispuesto en el artículo 34 de la Decisión 486 de 2000 y a la jurisprudencia del Tribunal de Justicia de la Comunidad Andina.

3. Justificación técnica de la representación gráfica

Frente a la observación de la Oficina sobre el cumplimiento de los requisitos del artículo 28 de la Decisión 486, el solicitante aclara que la naturaleza técnica de la presente invención no corresponde a un dispositivo mecánico, pieza eléctrica o aparato complejo que requiera vistas, cortes o planos de despiece. Por el contrario, el objeto de la protección es un método de detección de petróleo, cuya ejecución se basa en una secuencia lógica de etapas de procesamiento de datos e inteligencia artificial.

En este contexto, la Figura 1 constituye un diagrama de flujo que ilustra de manera clara y unívoca la sucesión temporal y funcional de las fases del método:

- Recolección de espectros: Representa la toma de datos inicial mediante el sensor espectroscópico.
- Normalización y reducción de dimensionalidad: Ilustra los pasos de preprocesamiento matemático de las señales.
- Procesamiento mediante modelos de IA (SVM, PLS-DA y Redes Neuronales): Detalla la lógica de decisión para la clasificación del suelo y la cuantificación del hidrocarburo.

Para este tipo de invenciones (métodos implementados por software o algoritmos), la doctrina y la práctica internacional de patentes reconocen que el diagrama de flujo es el instrumento técnico idóneo para que un experto en la materia pueda comprender y ejecutar la solución. Exigir cortes transversales o detalles de piezas mecánicas resultaría improcedente, toda vez que no existen elementos físicos móviles o ensambles de piezas que conformen la esencia de la novedad reivindicada.

Por tanto, el dibujo presentado cumple con la finalidad del artículo 28, aportando la claridad necesaria para la ejecución del procedimiento sin necesidad de recurrir a representaciones de dibujo técnico industrial que son ajenas a la naturaleza de los métodos asistidos por inteligencia artificial.

3. Análisis detallado de D1((US20170122889A1)

El documento D1 divulga métodos para la detección de petróleo crudo en muestras de suelo y agua mediante el uso de espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) y modelos de calibración multivariante. Técnicamente, D1 describe la recolección de espectros y el uso de análisis de componentes principales (PCA) y regresión de cuadrados mínimos parciales (PLSR) para correlacionar las firmas espectrales con la concentración de hidrocarburos totales de petróleo (TPH). Sin embargo, el contenido divulgado en D1 difiere sustancialmente de la solución reivindicada en la presente solicitud en cuanto a la arquitectura de procesamiento multiensamble y la capacidad de discriminación de la matriz analizada.

De manera específica, el documento D1 no divulga ni sugiere las siguientes características técnicas esenciales que son determinantes para la precisión e inmediatez del método reivindicado:

- a) La arquitectura de inteligencia artificial multiensamble: Mientras que D1 se limita a modelos estadísticos de regresión lineal (PLSR), la presente invención implementa una red neuronal multicapa con optimización de descenso de gradiente estocástico (Adam) que actúa como un modelo semicuantitativo de tercera fase. Esta estructura permite un nivel de predicción que supera la simple correlación estadística de D1.
- b) El procesamiento secuencial y discriminatorio de la información: D1 no enseña la fase intermedia de clasificación del tipo de suelo mediante máquinas de soporte de vectores (SVM). En nuestra invención, la integración de la data del SVM con el modelo PLS-DA es lo que permite normalizar la respuesta de la IA frente a diversas matrices de suelo, garantizando que el pronóstico no se vea afectado por las variables del terreno.
- c) La eliminación de la varianza por condiciones de campo: D1 describe procesos de laboratorio o análisis de muestras donde no se aborda el problema técnico de la dispersión de luz y distancia en campo. La invención reivindicada resuelve esto mediante un preproceso de normalización de vectores diseñado específicamente para el uso de un láser de cascada cuántica (QCL) a una distancia operativa de 15 cm.

Por ello, el documento D1 describe un método de análisis espectroscópico desde una perspectiva estadística convencional, pero carece de la enseñanza técnica referida al procesamiento multiensamble de inteligencia artificial necesario para lograr la detección instantánea y la cuantificación precisa que caracteriza a la presente invención. Por lo tanto, D1 no anticipa la invención reivindicada, ya que no divulga la secuencia lógica de etapas de IA ni la configuración funcional aquí propuesta.

4. Análisis detallado de D2 (US20160084815A1)

El documento D2, titulado “Method and system for monitoring a drilling fluid”, describe un sistema para el monitoreo de lodos y fluidos de perforación mediante el uso de espectroscopía (como UV-Vis, NIR o MIR) y análisis de regresión multivariante. El objetivo principal de D2 es determinar propiedades químicas y físicas de los fluidos de perforación de manera continua durante la operación de un pozo.

Sin embargo, el contenido divulgado en D2 difiere sustancialmente de la solución reivindicada en la presente solicitud en cuanto a la naturaleza del procesamiento lógico y la finalidad técnica del diagnóstico.

De manera específica, el documento D2 no divulga ni sugiere las siguientes características técnicas esenciales que definen la novedad de la presente invención:

- a) La arquitectura de IA de tres fases para la cuantificación en matrices complejas: D2 utiliza modelos de regresión convencionales para monitorear variaciones en un fluido de composición conocida (lodo de perforación). Por el contrario, la presente invención implementa una secuencia de tres modelos diferenciados (SVM para clasificación de suelo, PLS-DA para detección de hidrocarburos y una Red Neuronal para cuantificación) que permiten al sistema adaptarse a la heterogeneidad de matrices de suelo desconocidas en campo.

b) El uso de algoritmos de optimización de descenso de gradiente estocástico (Adam): D2 basa su análisis en correlaciones estadísticas lineales. La invención reivindicada integra una red neuronal multicapa que emplea funciones de compilación y algoritmos de optimización específicos para procesar la información integrada de los modelos previos, logrando un pronóstico semicuantitativo que D2 no enseña ni sugiere.

c) El método de normalización para la eliminación de varianza externa: D2 opera en entornos controlados de flujo de lodos donde las distancias y la dispersión de luz son constantes o manejadas mecánicamente. La presente invención reivindica un preproceso de normalización de vectores diseñado para corregir las distorsiones ópticas propias de la medición *in situ* sobre superficies de suelo irregulares a una distancia de 15 cm.

En consecuencia, el documento D2 se limita a una herramienta de control de procesos químicos en fluidos de perforación, pero carece de la enseñanza técnica referida a la integración de múltiples modelos de aprendizaje de máquina para la detección y cuantificación de petróleo en suelos. Por lo tanto, D2 no puede considerarse un antecedente que anticipe la secuencia lógica ni la configuración funcional de la invención propuesta.

5. Diferencias técnicas comunes a D1 y D2

Aunado a las diferencias específicas previamente desglosadas, existen divergencias técnicas transversales que permiten afirmar que la invención reivindicada se aparta clara, objetiva y sustancialmente del estado de la técnica citado. Estas diferencias sistémicas evidencian que la solución propuesta no es una mera aplicación de algoritmos conocidos, sino un desarrollo integral que no se encuentra divulgado ni sugerido en el arte previo.

a) Divergencia en la naturaleza del problema técnico y el campo de aplicación La invención reivindicada aborda un problema de visión artificial y predicción semicuantitativa en campo: la necesidad de identificar y medir hidrocarburos instantáneamente sobre matrices de suelo heterogéneas. Por el contrario, el documento D1 se circunscribe al análisis estadístico de laboratorio para correlacionar firmas espectrales, mientras que D2 pertenece al campo del control de procesos industriales en fluidos de perforación (lodos). No existe identidad en los problemas técnicos (predicción ambiental autónoma vs. monitoreo de procesos de perforación), lo cual impide considerar a D1 o D2 como referencias pertinentes para desarrollar un sistema de detección portátil basado en redes neuronales.

b) Ausencia de un procesamiento lógico multiensamble La invención protege un método de procesamiento integral que combina tres niveles de análisis: clasificación de matriz (SVM), detección de analito (PLS-DA) y predicción de concentración (Red Neuronal con optimización Adam). El estado de la técnica carece de esta integración. D1 utiliza modelos de regresión lineal simples que fallan ante la variabilidad del suelo, y D2 emplea regresiones multivariantes para monitorear tendencias en un fluido de composición constante, sin involucrar etapas de clasificación previa de la matriz ni redes neuronales multicapa.

c) Incompatibilidad técnica del preprocesamiento Un pilar de la invención es la normalización de vectores diseñada específicamente para eliminar la varianza generada por la distancia operativa (15 cm) y la dispersión de luz del láser QCL en exteriores. En contraste directo, D1 y D2 asumen condiciones de captura estables (laboratorio o tuberías de flujo controlado), donde no existen las perturbaciones ópticas del trabajo *in situ*. Aplicar las enseñanzas de los antecedentes en un escenario de campo resultaría en lecturas erróneas por la falta de corrección de la varianza por distancia.

d) Diferencia radical en los medios de optimización algorítmica El núcleo funcional de la invención para la cuantificación es una red neuronal que utiliza el algoritmo de optimización Adam. Este método permite ajustar los pesos de la red de manera dinámica para manejar la no linealidad de la respuesta espectral del petróleo. D1 y D2 no emplean optimizadores estocásticos ni estructuras de aprendizaje profundo; sus mediciones se basan en métodos de mínimos cuadrados que son técnicamente insuficientes para la complejidad de las señales obtenidas directamente del suelo sin preparación previa.

e) Diferencia en la arquitectura del sistema y portabilidad La invención define un sistema donde el dispositivo portátil actúa como un nodo de captura que se comunica con una IA alojada en la nube, permitiendo la detección instantánea sin necesidad de procesadores de alta potencia en el sitio. D1 requiere estaciones de trabajo de laboratorio para el análisis de datos, y D2 depende de infraestructuras de sensores fijos en plataformas de perforación. Ninguno de los antecedentes sugiere la arquitectura de comunicación y procesamiento remoto que caracteriza a la invención para facilitar la movilidad en tareas de remediación ambiental.

f) Falta de motivación para la combinación Finalmente, no existe motivación técnica para que un experto combine las enseñanzas de D1 (quimiometría básica) con las de D2 (monitoreo de lodos). Al estar D2 orientado a la estabilidad de fluidos de perforación mediante lecturas continuas, sus enseñanzas son irrelevantes para el objetivo de identificar trazas de contaminantes en suelos secos o variados. La combinación carece de propósito funcional y no conduciría a la solución reivindicada.

6. Formulación del problema técnico objetivo

De conformidad con la metodología desarrollada por el Tribunal de Justicia de la Comunidad Andina para el examen del nivel inventivo (Interpretaciones Prejudiciales 141-IP-2014 y 371-IP-2021), el análisis debe partir de la correcta identificación del problema técnico objetivo, formulado a partir de las limitaciones reales del estado de la técnica más cercano, evitando cualquier razonamiento retrospectivo (*ex post facto*).

En el presente caso, a partir del análisis conjunto de los documentos D1 y D2, se advierte que el estado de la técnica presenta las siguientes limitaciones técnicas relevantes:

(i) La ausencia de métodos de detección de petróleo *in situ* que permitan una cuantificación inmediata y precisas sin necesidad de preparación previa de la muestra.

(ii) La falta de sistemas que integren de manera funcional la espectroscopía de alta potencia con modelos de inteligencia artificial multiensamble para discriminar el tipo de suelo analizado.

(iii) La inexistencia de soluciones que resuelvan el problema de la varianza de la señal por distancia y dispersión de luz en condiciones de campo.

(iv) La dependencia de métodos estadísticos de regresión simple que carecen de la capacidad de predicción semicuantitativa en rangos de concentración específicos para matrices complejas.

Sobre esta base, el problema técnico objetivo que enfrenta la invención puede formularse de la siguiente manera:

¿Cómo desarrollar un método de detección de petróleo *in situ*, de alta precisión y respuesta instantánea, que permita la clasificación automática de la matriz de suelo y la predicción cuantificada

de hidrocarburos, superando las limitaciones de error por dispersión óptica y la lentitud de los métodos de análisis convencionales?

Este problema técnico no se encuentra planteado ni resuelto en los documentos citados. El documento D1 se orienta a la espectroscopía de reflectancia convencional sin proponer una arquitectura de IA de tres fases ni la corrección de varianza por distancia. Por su parte, el documento D2 se sitúa en el monitoreo de fluidos de perforación en entornos controlados, sin abordar la problemática de la detección en suelos heterogéneos mediante redes neuronales multicapa

La solución reivindicada responde a este problema mediante un conjunto funcional y sinérgico de características técnicas, que comprenden:

- a) La recolección de señales mediante un láser de cascada cuántica (QCL) con parámetros de distancia específicos.
- b) La normalización de vectores para la eliminación de ruidos ópticos de campo.
- c) El procesamiento multiensamble que combina máquinas de soporte de vectores (SVM), PLS-DA y una red neuronal multicapa con optimización Adam.

El resultado técnico alcanzado, consistente en un sistema capaz de pronosticar instantáneamente la presencia y el porcentaje de petróleo directamente en la matriz analizada, no se deriva de manera evidente del estado de la técnica citado. Conforme a la Interpretación Prejudicial 475-IP-2022, no existe una motivación técnica que conduzca a un experto a combinar modelos de monitoreo de lodos (D2) con quimiometría NIR (D1) para arribar a la compleja arquitectura de IA aquí propuesta. Cualquier intento de combinación requeriría un razonamiento retrospectivo proscrito por la normativa comunitaria

En consecuencia, la correcta formulación del problema técnico confirma que la solución reivindicada satisface plenamente el requisito de nivel inventivo, conforme al artículo 18 de la Decisión 486.

9. Nivel inventivo del proceso

El señor Examinador sostiene que las características técnicas definidas en las reivindicaciones independientes podrían derivarse de manera evidente a partir de una combinación de las enseñanzas de los documentos D1 y D2. Con el debido respeto, dicha conclusión no resulta jurídica ni técnicamente sostenible, en la medida en que parte de una formulación incorrecta del problema técnico objetivo, presume una motivación técnica inexistente y se apoya en una reconstrucción retrospectiva (*ex post facto*) del estado de la técnica, expresamente prohibida por la jurisprudencia comunitaria.

De conformidad con la doctrina reiterada del Tribunal de Justicia de la Comunidad Andina, el análisis del nivel inventivo exige determinar si la solución reivindicada habría resultado evidente para una persona versada en la materia, partiendo del estado de la técnica más cercano, sin conocimiento previo de la invención. En el presente caso, tales condiciones no se cumplen.

9.1 Estado de la técnica más cercano y diferencias reales

El propio Examinador identifica a D1 como el estado de la técnica más cercano, dado que divulga el uso de espectroscopía para la detección de hidrocarburos. No obstante, el análisis omite que D1 no

divulga la implementación de una arquitectura de inteligencia artificial multiensamble que integre modelos de soporte de vectores (SVM) para clasificación de matriz y redes neuronales multicapa para cuantificación semicuantitativa.

Esta diferencia no es meramente formal, sino que responde a un problema técnico concreto no abordado por D1: cómo lograr la discriminación automática de la matriz de suelo y la cuantificación precisa de hidrocarburos en condiciones de campo, eliminando la variabilidad generada por la heterogeneidad del terreno y la distancia de medición.

9.2. Error en la formulación del problema técnico objetivo

El Examinador formula el problema técnico objetivo como una simple búsqueda de una "alternativa" al método de D1. Esta formulación es incorrecta, ya que no refleja una limitación técnica objetiva del arte previo. D1 no identifica ni resuelve el problema de la dispersión óptica por distancia ni la necesidad de un procesamiento secuencial para normalizar la respuesta de la IA frente a distintos tipos de suelo.

El problema técnico objetivo correctamente formulado es:

¿Cómo obtener un método de detección de petróleo *in situ* que permita la clasificación autónoma de la matriz y la cuantificación estable de hidrocarburos, eliminando los errores de medición derivados de la varianza por distancia y la complejidad del suelo?

Este problema no está planteado ni resuelto en D1, ni tampoco en D2, el cual se limita al monitoreo de fluidos de perforación.

9.3. Inexistencia de motivación técnica para combinar D1 y D2

El Examinador sostiene que el experto estaría motivado a incorporar los modelos estadísticos de D2 al sistema de D1. Sin embargo, no existe sustento para ello. D2 se inscribe en el monitoreo de lodos de perforación en entornos industriales controlados, una finalidad ajena a la problemática de la detección ambiental portátil y la interpretación de firmas espectrales en suelos secos o contaminados.

No existe motivación clara para que el experto busque soluciones en el monitoreo de lodos industriales para optimizar un sistema de visión artificial y predicción en suelos. La supuesta motivación solo surge con conocimiento previo de la invención, lo cual constituye un razonamiento *ex post facto* inadmisibles.

9.4. Carácter no evidente del efecto técnico alcanzado

La invención introduce una secuencia técnica funcionalmente integrada en la que:

- (a) Se capturan espectros mediante un láser de cascada cuántica (QCL) a una distancia específica.
- (b) Se aplica una normalización de vectores para corregir la varianza óptica.
- (c) Se procesa la información mediante una IA multiensamble (SVM, PLS-DA y Red Neuronal).

Esta combinación genera un efecto técnico no previsible: la capacidad de entregar un pronóstico inmediato y cuantificado en campo, independientemente de la irregularidad de la muestra. Este resultado no se deriva de los antecedentes considerados aisladamente ni de su combinación, configurando plenamente el nivel inventivo conforme al artículo 18 de la Decisión 486.

10. Incompatibilidad funcional y de propósito entre D1 y D2

Uno de los elementos determinantes para descartar la combinación de los documentos D1 y D2 como fundamento para cuestionar el nivel inventivo de la presente solicitud radica en la divergencia sustancial de propósito técnico, enfoque metodológico y lógica funcional que caracteriza a cada uno de dichos antecedentes.

En efecto, el documento D1 se orienta específicamente al análisis de hidrocarburos mediante espectroscopía NIR y modelos de regresión estadística para correlacionar firmas espectrales con concentraciones de petróleo. El enfoque de D1 es fundamentalmente quimiométrico tradicional, centrado en la recolección de espectros y su procesamiento mediante métodos de mínimos cuadrados parciales. Sin embargo, D1 no aborda la clasificación previa de la matriz de suelo, no identifica problemas asociados a la varianza por distancia en campo, ni propone una arquitectura de inteligencia artificial multiensamble que integre redes neuronales para la predicción instantánea.

Por su parte, el documento D2 se enfoca en el monitoreo de fluidos de perforación (lodos) en un contexto industrial, con el objetivo de controlar propiedades físicas y químicas durante la operación de pozos petroleros. El propósito técnico de D2 es el control de procesos en entornos de flujo controlado, sin relación alguna con la detección ambiental *in situ* sobre suelos, la corrección de ruidos ópticos por distancia, ni la optimización de algoritmos stocásticos como Adam para la cuantificación en matrices sólidas heterogéneas.

Así, aunque ambos documentos se inscriben de manera general en el ámbito de la detección de hidrocarburos, responden a problemas técnicos radicalmente distintos:

- D1 se orienta a la correlación estadística en laboratorio o análisis convencionales, sin profundizar en la arquitectura de IA autónoma ni en la normalización para uso portátil.
- D2 se orienta al monitoreo industrial de lodos de perforación, sin considerar aplicaciones de detección ambiental ni efectos de dispersión de luz en superficies de suelo irregulares.

Desde esta perspectiva, la combinación de sus enseñanzas exigiría trasladar procedimientos desarrollados para el control de fluidos industriales (D2) a un contexto de predicción ambiental automatizada mediante visión artificial (D1), sin que exista en ninguno de los documentos una sugerencia que justifique dicho traslado. Tal operación no se desprende de manera natural del estado de la técnica y solo puede concebirse con conocimiento previo de la invención.

Tal como lo ha señalado el Tribunal de Justicia de la Comunidad Andina, no puede considerarse evidente una invención cuando los documentos que se pretenden combinar no responden al mismo problema técnico ni persiguen una finalidad coincidente, dado que en tal escenario no existe una motivación técnica objetiva que conduzca al experto a integrar sus enseñanzas. En el presente caso, D1 no reconoce el problema de la varianza por distancia en la toma de espectros portátil, y D2 no reconoce problema alguno relacionado con la clasificación de suelos mediante modelos SVM o redes neuronales multicapa.

Desde el punto de vista de una persona versada en la materia, no existiría motivación técnica razonable para combinar:

- Un documento orientado a la quimiometría NIR convencional sin tratamiento de ruidos ópticos externos.
- Un documento orientado al monitoreo de lodos industriales en tuberías.

Para arribar a un método de detección de petróleo *in situ* con inteligencia artificial multiensamble como el reivindicado. Toda combinación que solo resulta posible a partir del conocimiento previo de la invención constituye un razonamiento retrospectivo (*ex post facto*), incompatible con el examen objetivo del nivel inventivo exigido por el artículo 18 de la Decisión 486.

En consecuencia, la incompatibilidad funcional y de propósito entre D1 y D2 impide considerarlos combinables de manera legítima. No resulta válido suponer que un experto encontraría en D1 y D2 enseñanzas convergentes que lo condujeran de manera evidente a la solución aquí propuesta.

11. Ausencia de motivación técnica para combinar las enseñanzas de D1 y D2

Más allá de la incompatibilidad funcional y de propósito previamente expuesta entre los documentos D1 y D2, resulta igualmente determinante destacar la ausencia total de motivación técnica objetiva que pudiera conducir a una persona versada en la materia a combinar sus enseñanzas para arribar al método de detección de petróleo reivindicado en la presente solicitud.

De conformidad con los criterios desarrollados por el Tribunal de Justicia de la Comunidad Andina, el examen del nivel inventivo no se limita a verificar si elementos aislados de la invención pueden encontrarse dispersos en el estado de la técnica. Exige determinar si el experto en la materia habría contado con una razón técnica clara y previa para integrar tales elementos con el fin de resolver un mismo problema técnico. Dicha motivación no puede construirse *a posteriori*, sino que debe desprenderse de la lógica interna de los documentos citados.

En el presente caso, ni D1 ni D2 identifican, reconocen o plantean el problema técnico efectivamente resuelto por la invención. Este consiste en la necesidad de obtener un método de detección *in situ* con una arquitectura de inteligencia artificial multiensamble que permita clasificar la matriz de suelo y cuantificar hidrocarburos de forma instantánea.

El documento D1 se limita al diseño de modelos de calibración para espectroscopía NIR convencional. Aborda aspectos estadísticos de correlación, pero sin analizar ni problematizar el procesamiento secuencial mediante redes neuronales multicapa ni la corrección de ruidos ópticos por distancia en campo. En consecuencia, D1 no ofrece indicio alguno que motive al experto a incorporar procesos de clasificación por máquinas de soporte de vectores (SVM) o el uso de optimizadores stocásticos como Adam.

Por su parte, el documento D2 describe el monitoreo de fluidos de perforación con el objetivo específico de controlar procesos industriales en pozos. D2 no se inscribe en el campo de la detección ambiental portátil, no aborda problemas de dispersión de luz en suelos heterogéneos y no sugiere que tales mediciones industriales puedan emplearse para entrenar una red neuronal destinada a la cuantificación semicuantitativa de contaminantes en matrices sólidas.

Desde esta perspectiva, no existe una relación lógica o funcional entre las enseñanzas de D1 y D2 que permita inferir que su combinación conduciría al método reivindicado. La combinación de documentos solo es legítima cuando ambos responden al mismo problema técnico. Ninguna de estas circunstancias se presenta aquí.

Por el contrario, una eventual combinación de D1 y D2 exigiría asumir que un procedimiento desarrollado para el monitoreo de lodos industriales (D2) resulta directamente aplicable a la optimización de un sistema de detección portátil con láser de cascada cuántica (D1). Esta suposición no se desprende de los objetivos de los documentos citados y solo sería concebible a partir del conocimiento previo de la invención.

Toda combinación que requiera reconstruir el estado de la técnica utilizando la invención como guía constituye un razonamiento retrospectivo (*ex post facto*), incompatible con el análisis objetivo del nivel inventivo. La ausencia de motivación técnica razonable confirma que la solución reivindicada no se deriva de manera evidente del estado de la técnica. Por tanto, la presente invención cumple plenamente con el requisito de nivel inventivo conforme al artículo 18 de la Decisión 486 de la Comunidad Andina.

12. Ausencia de características triviales o evidentes en la configuración técnica reivindicada

En relación con el requisito de nivel inventivo previsto en el artículo 18 de la Decisión 486 de la Comunidad Andina, resulta necesario precisar que la invención reivindicada no incorpora características triviales, rutinarias ni derivables de manera directa del estado de la técnica, ni consideradas de forma aislada ni mediante una hipotética combinación de documentos previos como D1 y D2.

+3

La memoria descriptiva pone de manifiesto una configuración técnica compleja e integrada, estructurada como un método de detección *in situ*, en el que la captura de señales, la normalización de vectores y el procesamiento multiensamble por inteligencia artificial cooperan funcionalmente para resolver un problema técnico específico no abordado previamente: obtener un pronóstico inmediato y cuantificado de petróleo en matrices de suelo heterogéneas.

En particular, la invención reivindicada articula de manera sinérgica y no trivial:

(a) La recolección de señales espectroscópicas mediante un dispositivo portátil dotado de un láser de cascada cuántica (QCL).

(b) La normalización de las señales mediante un preproceso de vectores específicamente diseñado para eliminar la varianza por distancia y dispersión de luz en campo. **(c)** La reducción de la dimensionalidad de la información normalizada a cuatro componentes mediante análisis de componentes principales.

(c) La reducción de la dimensionalidad de la información normalizada a cuatro componentes mediante análisis de componentes principales.

(d) La clasificación del tipo de suelo a través de un modelo de máquinas de soporte de vectores (SVM).

e) El procesamiento mediante un modelo de cuadrados parciales mínimos acoplado a análisis discriminatorio (PLS-DA) para la detección de hidrocarburos.

(f) La cuantificación final del porcentaje de petróleo presente en la matriz mediante una red neuronal multicapa con optimización Adam.

Cada una de estas etapas, considerada de manera aislada, podría corresponder a técnicas conocidas en contextos estadísticos o industriales; sin embargo, su integración funcional específica dentro de un método de detección ambiental portátil no se desprende de manera evidente del estado de la técnica. El nivel inventivo no se excluye por el hecho de que ciertos elementos individuales sean conocidos, cuando su combinación produce una solución técnica que no era previsible para la persona versada en la materia.

La no trivialidad de la invención se refuerza por el hecho de que la configuración reivindicada no se limita a una simple aplicación de modelos de regresión, sino que introduce una secuencia de IA de tres fases cuyo efecto conjunto es permitir la identificación y cuantificación de contaminantes de manera instantánea y robusta frente a la variabilidad del terreno. Este efecto no se encuentra anticipado ni sugerido en D1, que carece de la arquitectura de red neuronal propuesta, ni en D2, que se orienta al monitoreo de fluidos industriales con una finalidad distinta.

En definitiva, el valor inventivo de la presente invención radica en la organización funcional novedosa de elementos de hardware espectroscópico y algoritmos de aprendizaje de máquina que produce un efecto técnico no anticipable: un diagnóstico semicuantitativo de petróleo en tiempo real directamente sobre el suelo. Dicha configuración no resulta evidente para una persona versada en la materia y satisface plenamente el requisito de nivel inventivo conforme al artículo 18 de la Decisión 486.

13. Efecto técnico distinto y no previsible

Finalmente, la combinación de características técnicas que conforman la presente invención produce un efecto técnico distinto y no previsible para una persona versada en la materia. La invención no consiste en la mera yuxtaposición de técnicas conocidas, sino en la articulación funcional de una arquitectura de inteligencia artificial multiensamble, en la que la recolección de señales, la normalización de vectores y el procesamiento secuencial cooperan para resolver un problema técnico que no estaba abordado en el estado de la técnica: la detección y cuantificación inmediata y precisa de petróleo directamente en campo.

En particular, la invención logra de manera conjunta:

- Un procesamiento robusto frente a la variabilidad de la muestra: Mediante la normalización de vectores, se elimina la varianza de la señal por distancia y dispersión de luz, permitiendo mediciones consistentes *in situ*.

- Una clasificación automática de la matriz: El uso de modelos de máquinas de soporte de vectores (SVM) permite identificar el tipo de suelo antes de la cuantificación, lo que asegura la precisión del diagnóstico.
- Una predicción cuantificada e inmediata: La integración de modelos PLS-DA con una red neuronal multicapa optimizada permite pronosticar porcentajes de petróleo en rangos de concentraciones predeterminados de forma instantánea.
- Una alta eficiencia operativa: El sistema permite la detección sin necesidad de excavación, preparación previa de la muestra o múltiples barridos del terreno.

Estos efectos técnicos no pueden deducirse de manera directa ni evidente a partir de las enseñanzas individuales de los documentos citados por la Oficina. En efecto:

- El documento D1 describe métodos de análisis espectroscópico basados en modelos de calibración estadística convencional para laboratorios, pero no aborda el procesamiento de señales en tiempo real ni reconoce el problema de la varianza por distancia en la toma de datos portátil.
- El documento D2 describe sistemas para el monitoreo industrial de fluidos y lodos de perforación en pozos, sin considerar aplicaciones de detección ambiental en suelos, sin analizar matrices sólidas heterogéneas y sin sugerir el uso de arquitecturas de IA de tres fases para la predicción semicuantitativa.

Ninguno de estos documentos sugiere que la combinación funcional de:

Una unidad de recolección de espectros portátil basada en láser de cascada cuántica.

Un preproceso de normalización de señales para eliminar ruidos ópticos de campo.

Un modelo de inteligencia artificial multiensamble (SVM, PLS-DA y Red Neuronal).

pueda conducir a un método con desempeño superior en términos de precisión y rapidez en campo, ni que dicha combinación produzca un efecto técnico sinérgico distinto al esperado de la simple suma de sus componentes.

Los resultados alcanzados por la presente invención constituyen un efecto técnico inesperado, derivado de la interacción cooperativa entre el hardware de espectroscopía láser y una lógica de procesamiento algorítmico avanzada. El método reivindicado supera claramente el rendimiento previsible de los sistemas conocidos, introduciendo una solución técnica cualitativamente superior para la remediación y exploración ambiental.

De conformidad con la doctrina reiterada del Tribunal de Justicia de la Comunidad Andina, existe nivel inventivo cuando la combinación de elementos conocidos produce un efecto técnico distinto y no anticipable. En el presente caso, la invención satisface plenamente dicho criterio, pues no representa una simple variación del estado de la técnica, sino una solución innovadora que redefine la forma de detectar hidrocarburos en el suelo de manera instantánea

14. Conclusión

A la luz de los argumentos técnicos y jurídicos desarrollados, y conforme a los criterios del Tribunal de Justicia de la Comunidad Andina sobre los artículos 16 y 18 de la Decisión 486 de 2000, se concluye que la invención para la detección de petróleo cumple plenamente con los requisitos de patentabilidad.

En relación con el requisito de novedad, se ha demostrado que ninguno de los documentos citados revela de manera directa y unitaria la configuración técnica del método reivindicado. El estado de la técnica no divulga un método que integre simultáneamente:

- La recolección de señales mediante un dispositivo de espectroscopía infrarroja portátil dotado de un láser de cascada cuántica.
- Un preproceso de normalización de vectores diseñado para eliminar la varianza por distancia y dispersión de luz.
- La reducción de la información a cuatro componentes mediante análisis de componentes principales.
- Una arquitectura de inteligencia artificial que clasifica el suelo mediante máquinas de soporte de vectores (SVM) e integra dicha data con modelos PLS-DA.
- La predicción del porcentaje de petróleo mediante una red neuronal multicapa con optimización Adam.

En consecuencia, no se configura anticipación según el artículo 16 de la Decisión 486, al no existir una divulgación integral de la secuencia lógica y algorítmica propuesta.

Respecto al nivel inventivo, se ha acreditado que la solución no resulta evidente para un experto en la materia. Los documentos D1 y D2 responden a problemas técnicos distintos: mientras D1 se limita a la quimiometría estadística tradicional, D2 se orienta al monitoreo industrial de lodos de perforación. No existe una motivación técnica objetiva que conduzca al experto a integrar un sistema de control de lodos industriales con una arquitectura de IA multiensamble para detección ambiental portátil.

La invención introduce una configuración técnica no trivial, en la que el hardware espectroscópico y el procesamiento secuencial por IA cooperan para producir un efecto técnico distinto y no previsible: la cuantificación inmediata y precisa de hidrocarburos directamente en campo, superando la interferencia de la matriz de suelo. Este resultado no se desprende de manera evidente de la tecnología anterior.

De conformidad con las Interpretaciones Prejudiciales 141-IP-2014 y 371-IP-2021, existe nivel inventivo cuando la combinación de elementos produce un resultado cualitativamente distinto, condición que se cumple en el presente caso al integrar modelos de clasificación y regresión neuronal para resolver la variabilidad de las muestras *in situ*.

La invención constituye una solución técnica concreta y reproducible, aplicable a la remediación ambiental y exploración petrolera, satisfaciendo la aplicación industrial.

Por lo anterior, se solicita respetuosamente que la Superintendencia de Industria y Comercio tenga por atendidas las observaciones y continúe el trámite hacia la concesión de la patente, al verificarse el cumplimiento de los requisitos de la Decisión 486

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'F' and 'M' with a dot above the 'M'.

Fredy S. Merino

C.C. 1043177293

T.P. 268742 del C.S. de la J.

Anexos: pliego reivindicatorio y capítulo descriptivo modificados.

5 **PROCESO IMPLEMENTADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN DE PETRÓLEO**

Campo de la invención

La presente invención pertenece al campo de la físico-química, particularmente se relaciona
10 con las mediciones por espectroscopía para la detección de espectros específicos en matrices.

Sector Tecnológico

La presente invención se sitúa en el sector de la físico-química analítica y la ingeniería de
15 petróleos. Específicamente, se refiere a un método que emplea espectroscopía infrarroja de alta potencia e inteligencia artificial para la detección y cuantificación inmediata de hidrocarburos en matrices de suelo directamente en campo.

Estado de la técnica

20 Dentro del estado de la técnica se encuentra la patente US4528508 “MÉTODO DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR Y APARATO PARA DETECCIÓN REMOTA Y MEDIDA VOLUMÉTRICA DE RESERVAS DE PETRÓLEO” que describe un nuevo método y aparato que permite la detección remota y la medición volumétrica in situ de las reservas de petróleo líquido. Una pequeña fracción de los momentos magnéticos nucleares de los
25 protones en una reserva de petróleo líquido se alinean en el campo magnético terrestre.

A diferencia de la solución encontrada, la invención que se pretende no requiere excavación y la detección es en campo. Adicionalmente, no se requiere de una revisión continua del terreno por medio de barridos, bastando con una medición por espectrometría para la determinación de la presencia de petróleo.

30 También se encontró la patente US2012271609 “Métodos y sistemas de computación para la exploración de hidrocarbón”. En la que se divulgan métodos y sistemas informáticos para la exploración de hidrocarburos. En una realización, se genera un modelo de sistemas integrados de petróleo para un área de interés, en la que se basa el modelo de sistemas

- 5 integrados de petróleo sobre: un contorno geológico, un conjunto de datos de teledetección satelital y un conjunto de datos de teledetección aerotransportada.

El método usado, es completamente distinto al que se pretende proteger, en tanto usa sensores LiDAR para perfilamiento geológico y lo combina con modelos digitales de otros tipos de datos para pronosticar la presencia de petróleo. Este proceso, requiere de un preprocesamiento extenso y complejo para la preparación del mapa geológico mejorado y el pronóstico es retardado en tanto depende del análisis de la data y su procesamiento dentro del método. En ese sentido, la invención provista no requiere de preprocesamiento o preparación alguna, toda vez que la inteligencia artificial utilizada está entrenada con múltiples parámetros de manera previa al momento de detección en campo.

- 15 De esta forma se identifican como ventajas técnicas de la solución propuesta la posibilidad de realizar análisis en campo, de manera inmediata, sin necesidad de excavación, sin que se requieran múltiples barridos o procesos de detección y sin preprocesamiento de la muestra de suelo analizada; asimismo, la data obtenida es procesada por una inteligencia artificial que pronostica de manera inmediata la presencia de petróleo en la matriz.

20 **Breve descripción de la invención**

La invención resuelve el problema técnico de la demora en la detección y cuantificación de contaminantes en campo mediante la integración de un láser de cascada cuántica (QCL) y un modelo de inteligencia artificial multiensamble.

- 25 A diferencia de la tecnología anterior, esta solución no requiere excavación, múltiples barridos del terreno, ni preparación previa de la muestra. La ventaja técnica principal radica en la inmediatez del pronóstico y la capacidad de realizar un análisis semicuantitativo en el mismo sitio de interés, gracias a que la inteligencia artificial está preentrenada para identificar patrones específicos de hidrocarburos en diversas matrices de suelo sin necesidad de intervención manual posterior a la toma del espectro.

30

Breve descripción de las figuras

Figura 1. Muestra un diagrama de flujo del proceso.

Descripción detallada de la invención

Los métodos actuales usados para detectar residuos del petróleo, particularmente en suelos, incluyen técnicas de espectroscopía y cromatografía que no permiten medir en tiempo real la presencia de residuos y requieren prolongados tiempos de detección. Estas variables son críticas a la hora de revertir la contaminación de los suelos y otras matrices por residuos de petróleo, o de identificar en campo la presencia del mismo.

Para ello, la solución provista, comprende un método que combina espectroscopía por medio de láser de alta potencia con el procesamiento de datos a través de una inteligencia artificial, de tal forma que el levantamiento de datos en campo – los espectros – es inmediatamente analizado por la inteligencia artificial alojada en un servidor en la nube.

La inteligencia artificial comprende una entrada consistente en los datos de la espectrometría y una salida que indica la presencia o no de residuos de petróleo.

La inteligencia es previamente entrenada a partir de un modelo de aprendizaje de máquina que combina análisis de componentes principales y sistema multivariantes para establecer un modelo de sistema de variables múltiples con una data de dimensiones reducidas.

La data de la espectroscopía es aportada al sistema para que este identifique los patrones y determine la presencia de trazas de contaminantes de petróleo en diversos suelos.

El proceso comprende la recolección de los espectros del suelo a analizar. Se requiere que la espectroscopía se realice en un punto sin vegetación y a una distancia aproximada de 15 cm. En una aplicación preferida de la invención, se usa un láser de cascada cuántica (QCL), sin embargo, es posible usar cualquier dispositivo de espectroscopía infrarroja portátil de alta potencia.

Se adquiere el espectro infrarrojo del suelo durante 5 segundos y la data que contiene las señales espectroscópicas se normaliza usando a través de un preproceso de normalización de vectores que permite eliminar la varianza de la señal por distancia y dispersión de la luz.

Los datos preprocesados son analizados en diversas fases por un modelo de inteligencia artificial multiensamble que combina dos modelos de aprendizaje de máquina con una red neural multicapa.

5 Para ello, la dimensionalidad de la información normalizada se reduce a 4 componentes mediante un análisis de componentes principales. Esos componentes son analizados mediante un modelo de aprendizaje de máquina del tipo máquina de vectores de soporte (SVM) para determinar el tipo de suelo.

Posteriormente, la información obtenida a partir del SVM, sumado a la data del espectro
10 obtenido son procesados mediante un modelo de aprendizaje de máquina basado en método de cuadrados parciales mínimos acoplado a análisis discriminatorio (PLS-DA). Con ello, el sistema es capaz de pronosticar si hay contaminación por petróleo o no.

En caso de existir contaminación, se activa un tercer modelo semicuantitativo, que pronostica el porcentaje de petróleo en rangos de concentraciones predeterminados que se
15 encuentra presente en la matriz analizada. Este modelo es parte de una red neuronal multicapa que comprende un nodo de entrada, una capa oculta y una capa de salida. Donde el nodo de entrada recibe la información obtenida hasta el momento y procesada mediante el SVM y el PLS-DA. La capa oculta procesa la información mediante una función de compilación y un algoritmo de optimización del descenso de gradiente estocástico (Adam);
20 y el nodo de salida refleja el pronóstico del porcentaje de petróleo presente en la matriz analizada.

Todo el sistema está instalado en un servidor en la nube que se conecta a un dispositivo portátil que recibe la data del aparato de espectrometría. Esto permite la detección *in situ*, de manera instantánea, de los contaminantes.

25 **Mejor manera conocida de ejecutar la invención**

Para la puesta en práctica de la invención, se debe posicionar el dispositivo de espectroscopía infrarroja portátil en un punto del suelo libre de vegetación, manteniendo una distancia de 15 cm entre el sensor y la superficie. El proceso de ejecución sigue estos pasos:

- 30 1. Se activa el láser de cascada cuántica para adquirir el espectro infrarrojo durante un periodo de 5 segundos.
2. Los datos recolectados se transmiten a un servidor en la nube donde se aplica una normalización de vectores para corregir distorsiones por luz y distancia.
3. El sistema reduce la dimensionalidad de los datos a 4 componentes clave mediante
35 análisis de componentes principales.

1. Método para la detección de petróleo, que comprende las siguientes fases:

- 10
 - Recolección de señales espectroscópicas de una superficie de suelo mediante un dispositivo de espectroscopía infrarroja portátil dotado de un láser de cascada cuántica.
 - Normalización de las señales recolectadas mediante un preproceso de normalización de vectores para la eliminación de la varianza por distancia y dispersión de luz.
 - 15
 - Reducción de la dimensionalidad de la información normalizada a cuatro componentes mediante un análisis de componentes principales.
 - Clasificación del tipo de suelo mediante un modelo de aprendizaje de máquina de soporte de vectores que procesa los referidos cuatro componentes.
 - Integración de los datos del espectro con la información obtenida del modelo de aprendizaje de máquina de soporte de vectores.
 - 20
 - Procesamiento de la información integrada mediante un modelo de aprendizaje de máquina basado en el método de cuadrados parciales mínimos acoplado a clasificación discriminante para determinar la presencia de hidrocarburos.
 - Predicción del porcentaje de petróleo presente en la muestra objeto de estudio por medio de una red neuronal multicapa.
 - 25
- 2. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque la red neuronal multicapa comprende un nodo de entrada, una capa oculta y un nodo de salida.
- 30 3. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque el nodo de entrada recibe la información procesada por el modelo de aprendizaje de máquina basado en el método de cuadrados parciales mínimos acoplado a clasificación discriminante e información del modelo de aprendizaje de máquina de soporte de vectores.
- 35 4. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque la capa oculta procesa la información mediante una función de compilación y un algoritmo de optimización del descenso de gradiente estocástico (Adam).

5. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque el nodo de salida entrega el resultado de la predicción del porcentaje de petróleo presente en la muestra objeto de estudio en rangos de concentraciones predeterminados.

- 5 4. Un primer modelo de soporte de vectores clasifica el tipo de suelo analizado.
5. Un segundo modelo (PLS-DA) determina la presencia de hidrocarburos.
6. En caso positivo, una red neuronal multicapa con optimización Adam estima el porcentaje de concentración de petróleo, entregando el resultado instantáneamente al operador en campo.

10

Aplicación Industrial

La invención es susceptible de aplicación industrial en el sector de la remediación ambiental, la exploración petrolera y la supervisión de ductos, pudiendo ser fabricada y utilizada de manera repetitiva para la caracterización química de suelos contaminados o la

15 identificación de depósitos de hidrocarburos con resultados consistentes.