

ACIPET

Título: Método y dispositivo trazador óptico Inteligente que suministra un fluido fluorescente para computar velocidad de flujo en un pozo inyector de agua.

Autor(es): J. Ocampo Visual Logging, L. Arevalo Visual Logging, C. Ocampo Visual Logging

Categoría: Marque con una "X"

- Artículo Técnico
- Tesis Pregrado
- Tesis Posgrado

Derechos de Autor 2022. ACIPET

Este artículo técnico fue preparado para presentación en el XIX Congreso Regional Colombiano de Petróleo, Gas y Energía organizado por ACIPET en Cartagena, Colombia.

Este artículo fue seleccionado para presentación por el comité técnico de ACIPET, basado en información contenida en un resumen enviado por el autor(es).

Resumen

Actualmente en el área de petróleos es común emplear material radiactivo para perfiles de inyección. Estas técnicas deben ser controladas y reguladas por el estado debido a razones medio ambientales, de seguridad y salud ocupacional. En respuesta a los peligros radiactivos inherentes a estas técnicas, Visual Logging propone una solución dirigida a operadoras de petróleo y gas, la cual elimina el uso de este material. El objetivo de este documento es proponer una tecnología innovadora, que hemos denominado *Trazador Óptico Inteligente* (Patente en Proceso), para la estimación de la velocidad de flujo. En la que a través de un sistema de eyección liberamos una solución fluorescente como traza para la implementación de nuestra metodología. Esta tinta fluorescente se detecta a partir de sensores ópticos que muestrean la señal visual que posteriormente es procesada con técnicas de reconocimiento de objetos basadas en procesamiento digital de imágenes e inteligencia artificial. Nuestra técnica de procesado visual, elimina el uso del Isotopo YODO-131 (I-131), fuente radiactiva abierta (en estado líquido), evitando así la contaminación cruzada con el agua inyectada. Como resultado directo, se obtiene una reducción en la huella hídrica en el tratamiento de aguas de inyección. Adicionalmente, nuestra técnica es una aplicación versátil que no requiere de regulaciones o responsabilidades que acompañan la utilización de los trazadores radiactivos.

Introducción

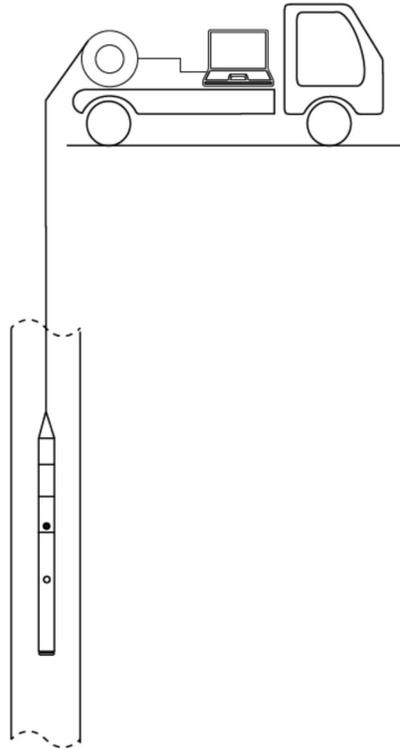
En principio, los trazadores se pueden dividir en dos grupos principales: trazadores radiactivos y químicos. Los trazadores radiactivos se han utilizado desde la década de 1940, estos se utilizan generalmente para monitorear el progreso de la inyección de agua en los esquemas de recuperación secundaria en depósitos de petróleo y aún son aplicados en algunos países, entre ellos Colombia, para medir el movimiento del fluido en pozos de inyección. Esta técnica libera la solución radiactiva (Fuente Abierta) en un fluido inyectado, en el cual se rastrea el movimiento de la mezcla con detectores de rayos gama ubicados en la herramienta. Para su uso se requiere una autorización especial de los organismos reguladores pertinentes con la intención de transportar materiales radiactivos por tierra, mar o aire, y solo se espera que el personal certificado se encargue de todos los aspectos de seguridad necesarios para su aplicación. Los trazadores químicos utilizan comúnmente ácidos benzoicos fluorados (FBA) en aplicaciones de yacimientos de petróleo y se pueden detectar, utilizando herramientas de analítica rápida, como, cromatografía líquida de ultra alto rendimiento (UHPLC) y espectrometría de masas (MS-MS) en serie y, por lo tanto, existe la necesidad de un análisis sensible en las aguas de los yacimientos de petróleo.

Esta técnica permite calcular el movimiento del fluido dentro de la tubería del pozo a través de sensores ópticos y métodos de reconocimiento de objetos, basados en procesamiento computacional de imágenes con inteligencia artificial, para medir el caudal en zonas importantes del pozo inyector. Esta es una variable de especial importancia a la hora de hacer seguimiento en los pozos de inyección de agua para el control de la producción de petróleo en los campos donde se aplica extracción secundaria. Nuestro desarrollo de Trazador Óptico permite determinar los perfiles del flujo de inyección sin utilizar material radiactivo, una de las técnicas más usadas en Colombia, con las ventajas de no exponer al personal a fuentes radiactivas de alta energía como el Yodo-131 y no dejar trazas de este material en el agua que es inyectada al pozo, reduciendo así la huella hídrica en el proceso, costo reducido, además de ser una aplicación versátil sin las regulaciones y responsabilidades que acompañan la utilización de trazadores radiactivos.

Metodología y datos

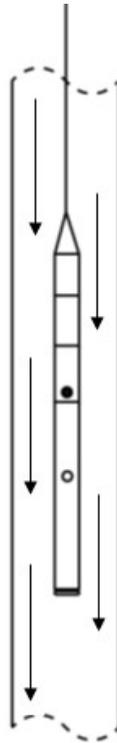
La presente técnica revela un método, sistema y dispositivo que usa las propiedades de fluorescencia en materiales, donde la fluorescencia es una propiedad de algunas sustancias de reflejar la luz con una longitud de onda más largas a la luz incidente.

Figura 1. Vista esquemática del sistema de cómputo de velocidad de un fluido en un pozo.



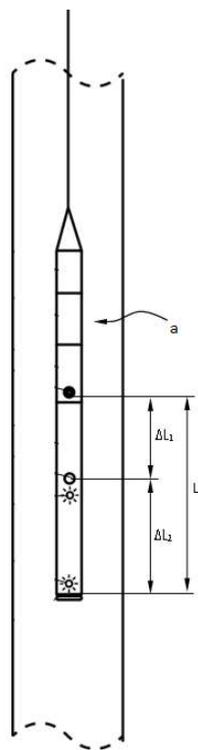
La figura 1 revela un sistema para computar la velocidad de flujo dentro de un pozo inyector de agua, el cual está conformado por un dispositivo trazador óptico inteligente que está conectado y sostenido por un cable trenzado acerado con alma de cobre y una fibra óptica monomodo. Este cable, que se introduce al pozo inyector de agua, es enrollado en un carrete accionado hidráulicamente, el cual esta soportado sobre una plataforma como la incluida en un camión. La fibra óptica monomodo está conectada a una computadora, permitiendo la comunicación bidireccional de datos. Dicha computadora incluye una unidad de almacenamiento de video y una unidad de procesamiento de video.

Figura 2. Vista esquemática de disposición de un dispositivo trazador óptico en una tubería de pozo y dirección de flujo de agua.



La figura 2 revela el sentido del flujo de la corriente de agua inyectada, en el pozo con tubería, donde el dispositivo trazador óptico inteligente es conectado al cable trenzado.

Figura 3. Vista esquemática de los diferentes componentes del dispositivo trazador óptico. (a) Dispositivo Trazador Óptico Inteligente.



La figura 3 revela el esquema general de un dispositivo trazador óptico, el cual incluye:

- Cabeza eléctrica conectada al cable trenzado
- Localizador de collares de tubería o, en inglés, casing collar locator (CCL)
- Unidad eyectora, la cual incluye un tanque de almacenaje con medios de eyección y boquilla de salida de fluidos, que en este caso particular, es un líquido fluorescente
- Unidad de captura de video, la cual incluye una cámara de video lateral y una cámara de fondo que permiten la toma de imágenes por medio de sensores ópticos. Cada una de estas, en sus zonas adyacentes, cuenta con unidades de iluminación por luz LED en la zona visible del espectro de luz.

La cabeza eléctrica, el localizador de collares de tubería, la unidad eyectora y la unidad de captura de video, están herméticamente selladas para proteger y aislar sus componentes eléctricos y electrónicos de tal manera que resistan las temperaturas y presiones de trabajo dentro del pozo inyector de agua.

La figura 3 indica a su vez la longitud $\Delta L1$, distancia lineal entre la posición de la boquilla de salida de eyección de solución fluorescente y la posición central de captura de la imagen en la cámara lateral; la longitud L , distancia entre la posición de la boquilla de salida de eyección de solución fluorescente y la posición central de captura de la imagen en la cámara de fondo y la longitud $\Delta L2$, que es la distancia entre la posición central de captura de la imagen en la cámara lateral y la posición central de captura de la imagen en la cámara de fondo.

La forma en la que el sistema computa la velocidad de flujo dentro de un pozo inyector de agua, es la siguiente: se desciende el dispositivo trazador óptico suspendido en el cable trenzado dentro del interior de la tubería del pozo, seguidamente se posiciona a una profundidad definida, en el punto en donde se desea calcular la velocidad de flujo y, de esa manera, determinar el flujo o caudal de fluido inyectado al pozo. El dispositivo trazador óptico cuenta con comunicación desde la superficie hasta la profundidad de medición a través de una computadora ubicada en la plataforma del camión en la superficie, la cual comprende de una unidad de almacenamiento de video con un interruptor para accionar o pausar la grabación. Así mismo, presenta un control para la eyección del fluido fluorescente, el cual se realiza a una distancia $\Delta L1$ de la cámara lateral, conservando el alineamiento con respecto al orificio de eyección; una ventana ubicada en la parte lateral donde se ubica la cámara lateral y una cámara de fondo en la parte inferior. Independientemente cada ventana sirve de abertura para cada cámara de video.

Una vez ubicada la herramienta en el punto deseado, se activa la unidad eyectora desde la computadora, expulsando así la sustancia fluorescente, la cual, debido al sentido descendente del flujo, es captada por la cámara lateral y su señal enviada a superficie en donde es almacenada gracias al sistema DVR. Posteriormente la sustancia es captada por la cámara ubicada en fondo repitiendo el proceso descrito. El sistema es redundante, ya que se conoce la distancia $\Delta L1$ que separa posición de la boquilla de salida y la cámara lateral y también la distancia $\Delta L2$ entre la cámara lateral y la cámara de fondo; donde la unidad de captura de video contiene las dos cámaras.

Referente a la unidad de procesamiento de video, esta consta de un software que permite el análisis de los videos generados por las cámaras de video. Mas particularmente, dicho software contienen las instrucciones para leer los videos, procesar si cada segmento de video contiene el fluido de eyección y, como resultado, arroja el tiempo que le tomo al fluido recorrer la distancia desde el momento de salida hasta cruzar por cada cámara de video. Para el reconocimiento de fluido se utilizan técnicas de procesamiento de imágenes las cuales extraen características geométricas y radiométricas de los objetos presentes en la escena. Tales características son posteriormente analizadas de manera automática para determinar si son semejantes a las presentes en las estructuras generadas por el fluido fluorescente y asignando un puntaje según sea el caso.

Respecto a la etapa de procesamiento de las imágenes, así como de la asignación del puntaje, se pueden definir dos sub-etapas: la umbralización y luego la clasificación. La umbralización es un método de segmentación, cuyo objetivo es convertir una imagen en escala de grises a una nueva con sólo dos niveles, de manera que los objetos queden separados del fondo. Una forma de extraer el objeto del fondo es seleccionar un umbral de intensidad "T" que separe los dos conjuntos datos. De este modo, cualquier punto (x, y) para el que

$$f(x, y) > T$$

pertenecerá al objeto, en caso contrario, pertenecerá al fondo.

En síntesis, el sistema y método que implementa el dispositivo el trazador óptico consiste en la inyección de una solución fluorescente, en donde la detección de dicha solución se realiza a través de sensores ópticos ubicados en cámaras lateral y de fondo, determinando el caudal de inyección del pozo, gracias a técnicas de reconocimiento de objetos basadas en el procesamiento

computacional de imágenes. Este proceso se realiza sin utilizar fuentes radiactivas y sin la intervención de un humano para la identificación de los picos obtenidos y a un costo comparable con la técnica de trazadores radiactivos. Esto la hace una aplicación versátil que no requiere de las regulaciones de entidades gubernamentales y responsabilidades que acompañan la utilización de materiales radiactivos.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede definir un método para computar velocidad de flujo que comprende las siguientes etapas:

- a. Proveer un dispositivo trazador óptico
 - b. Proveer al menos una unidad central de procesamiento con red de comunicaciones a un trazador óptico
 - c. Eyectar fluido fluorescente por medio de unidad de eyección
 - d. Capturar video por medio de sensor óptico de la cámara lateral y cámara de fondo.
 - e. Computar probabilidad de coincidencia por medio de la unidad central de procesamiento y asignar puntaje. Donde se puede obtener una probabilidad alta al conjunto de características asociadas a un objeto fluorescente y se asigna un puntaje. Donde en la etapa e. incluye ejecutar algoritmos de extracción de características geométricas y radiométricas con una primera sub-etapa
 - Umbralizar por medio de ejecución de algoritmos que incluyen seleccionar el color a umbralizar e incluyen la ejecución de librerías de visión artificial y ejecución de librerías de cálculo numérico y análisis de datos.
 - Al momento de ejecutar los algoritmos de extracción de características a identificar se han definido variables como el área de los objetos presentes en la imagen, el grado de circularidad, el grado de cercanía al centro de la imagen, el nivel de elongación, el promedio de las intensidades, el grado de contraste con los objetos colindantes.
- y; una segunda sub-etapa
- Clasificar y ejecutar librerías con algoritmos de clasificación de datos, donde pueden ser seleccionados entre Support Vector Machine (SVM) u otro algoritmo de clasificación, donde el cálculo es ejecutado por medio de la unidad central de procesamiento, para computar y asignar un puntaje.
- f. Calcular el periodo de tiempo entre la eyección de fluido fluorescente y captura de las imágenes procesadas de las cámaras. Donde se definen los periodos de tiempo t_1 , t_2 , de detección de la imagen con el líquido fluorescente al momento de paso al frente de la cámara lateral y cámara de fondo, así como determinar el tiempo inicial T_0 inicial al instante de eyección de fluido fluorescente.
 - g. Computar velocidad media del flujo por medio de la fórmula:

$$V_{media} = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{(\Delta L_1 / \Delta t_1) + (\Delta L_2 / \Delta t_2)}{2}$$

La velocidad media computada sumada la velocidad V_1 hasta la cámara frontal y la velocidad V_2 hasta la cámara de fondo, dividida entre 2.

El flujo estimado se calculará por medio de fórmula:

$$Q = V * A$$

Donde Q es caudal, V es velocidad y A corresponde al área de la tubería.

Resultados

Actualmente la técnica de Trazador Óptico Inteligente se encuentra en un TRL6 de acuerdo a la figura 4 del concepto de madurez tecnológica o sus siglas ingles TRL (Technology Readiness Level)

Figura 4. Niveles de madurez tecnológica

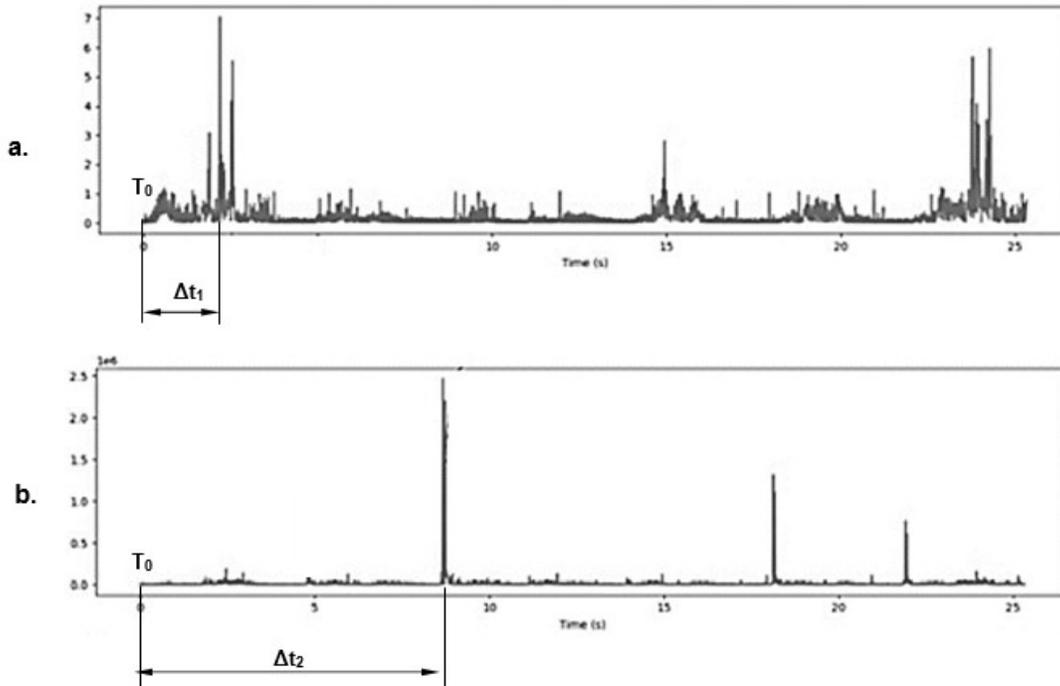


Fuente: tomada del documento de **Política de Actores del SNCTeI**

En consecuencia, los resultados obtenidos son en un entorno pertinente de acuerdo a la clasificación TRL6

La figura 5. muestra ejemplos de valores calculados en el tiempo por el algoritmo de umbralización y clasificación. La figura en la parte a. señala los picos de valores que identifican la solución fluorescente y se asocia un primer valor de periodo de tiempo Δt_1 , el cual es el tiempo en recorrer la distancia ΔL_1 , la que a su vez es la distancia entre la posición de la boquilla de salida de eyección de solución fluorescente y la posición central de captura de la imagen en la cámara lateral. En la parte b. de la figura 5, se observan los picos de valores que identifican la solución fluorescente que se asocia en primer valor de periodo de tiempo Δt_2 , el cual es el tiempo en recorrer la distancia L, en donde L es la distancia entre la boquilla de salida de eyección de solución fluorescente y posición central de captura de la imagen en la cámara de fondo.

Figura 5. Las partes a. y b. revelan graficas de identificación de fluido fluorescente y periodos de tiempo estimados.



Como resultado de este análisis se obtiene por cada cuadro del video un puntaje, el cual sugiere la probabilidad de que la escena contenga una estructura fluorescente. El conjunto de puntajes produce una señal de tiempo por cada cámara de video como las gráficas mostradas en la figura 5. Posteriormente, se realiza un análisis local sobre cada señal para determinar el instante en que se presentó el pico más grande, asociado a la presencia de la traza fluorescente. Estos tiempos son utilizados para calcular la velocidad de desplazamiento a lo

largo de cada uno de los segmentos ΔL_1 y L , donde la velocidad media de ambas cantidades es un estimador eficiente para calcular la velocidad real del flujo del fluido.

El procesamiento de las imágenes se puede implementar de diversas formas, por ejemplo usando redes neuronales convulsionales reconociendo diversas características geométricas y de color, o se pueden usar técnicas convencionales de procesamiento de imágenes, identificando el área de los objetos presentes en la imagen, el grado de circularidad, el grado de cercanía al centro de la imagen, el nivel de elongación, el promedio de las intensidades, el grado de contraste con los objetos colindantes, entre otros. Es importante mencionar que estas características se extraen una vez en la primera sub-etapa de umbralización de la imagen, de tal manera que se detecten principalmente los objetos que contengan las intensidades de color asociados al color del fluido fluorescente. Por ejemplo, si asumimos que el fluido fluorescente es azul, entonces se umbraliza la componente azul de la imagen y se procede a extraer las características. Una vez extraídas las características se procede en una segunda sub-etapa emplear el algoritmo SVM *Support Vector Machine* u otro algoritmo de clasificación. Dicho algoritmo es previamente entrenado para asignar una probabilidad alta al conjunto de características asociadas a un objeto fluorescente. Si no, la probabilidad que se asigna un puntaje bajo.

Conclusiones

- ✓ La técnica ofrece una mayor seguridad Industrial al Trabajador Ocupacionalmente Expuesto al no hacer uso de fuentes radiactivas.
- ✓ Al ser el Yodo-131, la fuente radiactiva usada en los trazadores radiactivos, una fuente radiactiva abierta, es decir su estado es líquido, la técnica elimina la contaminación cruzada con el agua inyectada, reduciendo así la huella hídrica en el proceso de tratamiento de agua de inyección.
- ✓ Aplicación versátil y confiable ya que no requiere regulaciones del servicio geológico colombiano como lo requieren las responsabilidades propias del material radiactivo.
- ✓ La técnica reduce la incertidumbre de medición al automatizar el reconocimiento de la traza y el posterior cálculo de tiempo en las entradas de escena de la traza entre cámaras respecto al trazador radiactivo; este requiere de un ingeniero que detecte y seleccione el cruce entre las curvas gamma.
- ✓ La técnica ofrece una solución adicional ya que el registro obtenido es un registro de video, este puede ser inspeccionado por el interesado posteriormente y en las zonas de interés.
- ✓ Dada su naturaleza de procesamiento computacional no requiere materia prima especial, como el caso del Yodo-131 que debe ser importado, este tipo de importaciones están expuestos a fuertes cambios en su precio de acuerdo a factores globales, sin embargo, la técnica de trazador óptico Inteligente no requiere materia prima de este tipo.

Referencias

- Novel 'cuckoo search algorithm' beats particle swarm optimization, January 2010.
- Anthony Curtis Atkinson, Alexander N Donev, and Randall Davis Tobias. *Optimum experimental designs, with SAS*, volume 34. Oxford University Press Oxford, 2007.
- Castro, R. et al.: "Enhanced Oil Recovery (EOR) Status – Colombia" SPE-139199-MS. Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference. Lima, Perú, 30 Noviembre - 3 Diciembre (2010).
- Christopher M Bishop et al. *Pattern recognition and machine learning*, volume 1. Springer New York, 2006.
- KJ Blinowska, B Trzaskowski, M Kaminski, and R Kus. *Multivariate autoregressive model for a study of phylogenetic diversity*. *Gene*, 435(1):104–118, 2009.
- Christopher JC Burges. *A tutorial on support vector machines for pattern recognition*. *Data mining and knowledge discovery*, 2(2):121–167, 1998.
- Jorge Alberto Jaramillo Garzon. "Metodología de optimización de los parámetros de control de un algoritmo genético". Universidad Nacional de Colombia, Tesis de Maestría en Ingeniería, Automatización Industrial, 2007.
- Ming-Wei Chang and Chih-Jen Lin. *Leave-one-out bounds for support vector regression model selection*. *Neural Computation*, 17(5):1188–1222, 2005.
- A.V. Chechkin, V.Y. Gonchar, J. Klafter, and R. Metzler. *Fundamentals of lévy flight processes. Fractals, Diffusion, and Relaxation in Disordered Complex Systems*, pages 439–496, 2006.
- Vladimir Cherkassky and Yunqian Ma. *Practical selection of svm parameters and noise estimation for svm regression*. *Neural networks*, 17(1):113–126, 2004.

- Yongmin Li, Shaogang Gong, Jamie Sherrah, and Heather Liddell. *Multi-view face detection using support vector machines and eigenspace modelling*. In *Knowledge-Based*
- “Intelligent Engineering Systems and Allied Technologies, 2000. Proceedings. Fourth International Conference” on, **volume 1**, pages 241–244. IEEE, 2000.

Agradecimientos

- Agradecimientos especiales al programa AceleraTEch de la cámara de comercio de Bucaramanga en convenio con Ecopetrol.