

# Técnica de inversión sísmica para las investigaciones de propiedades de reservorios de hidrocarburos y su aplicación en Cuba.

Bárbara Olenia Sánchez Arias<sup>1</sup>, Emilio Escartín Sauleda<sup>2</sup>, Bruno de Souza Silva<sup>3</sup>, Hilda Esther Amador Longoria<sup>4</sup> y Rigoberto Báez Gutiérrez<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> *Ingeniera Geofísica. Departamento de Geociencias, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría», CUJAE. Calle 114 No. 11901, Marianao, La Habana, Cuba, C.P. 19390. Correo electrónico: olegaga87@gmail.com.*

<sup>2</sup> *Ingeniero Geofísico. Departamento de Geociencias, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría», CUJAE. La Habana, Cuba, C.P. 19390.*

<sup>3</sup> *Ingeniero Geofísico. Departamento de Geociencias, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría», CUJAE. La Habana, Cuba, C.P. 19390.*

<sup>4</sup> *Ingeniera Geofísica. Departamento de Geociencias, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría», CUJAE. La Habana, Cuba, C.P. 19390.*

<sup>5</sup> *Ingeniero Geofísico. Departamento de Geociencias, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría», CUJAE. La Habana, Cuba, C.P. 19390.*

## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis sobre las variantes de inversión sísmica, ya que en la actualidad constituye una herramienta poderosa para realizar estudios detallados sobre algunos parámetros importantes que caracterizan los reservorios, como: porosidad, forma del poro, mineralogía, tipo de fluido, presión de poro, saturación de fluido y temperatura, a partir de la calibración con datos de pozo donde por medio de la inversión se busca inferir y recuperar esta información. Dada la importancia de este tema y las ventajas de su aplicación en Cuba y al desconocimiento de trabajos anteriores efectuados en nuestro país con respecto a este tema, se decide determinar cuál de las variantes de inversión sísmica sería la más factible para su empleo ajustándose a las condiciones geológicas específicas que presenta. Se realizó una investigación bibliográfica de las diferentes variantes de inversión sísmica para la aplicabilidad en Cuba, a partir de la investigación bibliográfica y sobre la base teórica de cada una de ellas, las cuales indican su alcance, se determinó que de todas las variantes estudiadas la más conveniente sería la inversión sísmica simultánea. Se consideró que este método de inversión es el más adecuado porque se ajusta mejor a las condiciones geológicas

presentes; y donde se conoce la alta complejidad producto del sobrecorrimiento de las estructuras en donde se encuentran las mayores reservas de hidrocarburos al norte de Cuba.

**Palabras claves:** Inversión sísmica, inversión simultánea, reservorios, hidrocarburo

## ABSTRACT

Presently work is carried out an analysis on the variants of seismic investment, since at the present time it constitutes a powerful tool to carry out detailed studies on some important parameters that characterize the reservoirs, as: porosity, forms of the pore, mineralogy, type of fluid, pore pressure, saturation of fluid and temperature, starting from the calibration with well data where by means of the investment it is looked for to infer and to recover this information. Given the importance of this topic and the advantages of their application in Cuba and to the ignorance of previous works made in our country with regard to this topic, he/she decides to determine which of the variants of seismic investment it would be the most feasible for their employment being adjusted to the geologic specific conditions that it presents. It was carried out a biblio-

graphical investigation of the different variants of seismic investment for the applicability in Cuba, starting from the bibliographical investigation and on the theoretical base of each one of them, which indicate their reach, were determined that of all the studied variants the most convenient would be the seismic simultaneous investment. It was considered that this investment method is the most appropriate because it is adjusted well to the conditions geologic present; and where the high complexity product of the over roll of the structures is known where are the biggest reservations of hydrocarbons to the north of Cuba.

**Key Word:** Seismic investment, simultaneous investment, reservoirs, hydrocarbon

## RESUMO

Agora trabalho é levado fora uma análise nas variantes de investimento sísmico, desde na atualidade isto constitui uma ferramenta poderosa para levar a cabo estudos detalhados em alguns parâmetros importantes que caracterizam o reservorios, como: porosidade, formas do poro, mineralogia, tipo de fluido, pressão de poro, saturação de fluido e temperatura, a partir da calibração com bem dados onde por meio do investimento é olhado para deduzir e recuperar esta informação. Dado a importância deste tópico e as vantagens da aplicação deles em Cuba e à ignorância de trabalhos previamente feita em nosso país com respeito a este tópico, ele decide determinar o qual das variantes de investimento sísmico seria o mais possível para o emprego deles sendo ajustado às condições específicas geológicas que apresenta. Ele foi levado fora uma investigação bibliográfica das variantes diferentes de investimento sísmico para a aplicabilidade em Cuba, a partir da investigação bibliográfica e na base teórica de cada um deles, que indicam o alcance deles, era determinado que de todas as variantes instruídas os mais convenientes seriam o investimento simultâneo sísmico. Era considerado que este método de investimento é o mais apropriado porque é ajustado bem às condições presente geológico; e onde o produto de complexidade alto do sobrecoorrimiento das estruturas é conhecido onde é as reservas maiores de hidrocarboneto ao norte de Cuba.

**Palavras chave:** Investimento sísmico, investimento simultâneo, reservorios, hidrocarboneto

## INTRODUCCIÓN

A través de los años y en cada contexto histórico ha ha-

bido técnicas de apoyo a los diferentes métodos geofísicos con el fin de lograr interpretaciones más fidedignas sobre la estructura del subsuelo. A esto se le agrega que en la actualidad no es desconocido el avance tecnológico y sobre todo la importancia de descubrir nuevos yacimientos, llámese yacimientos de minerales (metálicos o no metálicos) o los más buscados como los de hidrocarburos en condiciones geológicas cada vez más complicadas. Con respecto a estos últimos es que se formuló la búsqueda de nuevas técnicas que permitieran obtener más información sobre los mismos. No solo existe carencia de nuevos descubrimientos, sino que se necesita a partir de los ya existentes, nuevas metodologías para el mejor aprovechamiento de sus recursos.

Por esto se recurrió a la búsqueda e investigación bibliográfica de la técnica conocida como «Inversión Sísmica» ya que en la actualidad constituye una herramienta poderosa para realizar estudios detallados sobre algunos parámetros importantes que caracterizan los reservorios. Debido a la importancia de este tema y las ventajas de su aplicación en Cuba y al desconocimiento de trabajos anteriores efectuados en nuestro país con respecto a este tema, se decide determinar cuál de las variantes de inversión sísmica sería la más factible para su aplicabilidad en nuestro país, que se ajusten a las condiciones geológicas específicas que presenta. Por lo que el objetivo a cumplir será realizar una investigación bibliográfica de las diferentes variantes de inversión sísmica para la aplicabilidad en Cuba.

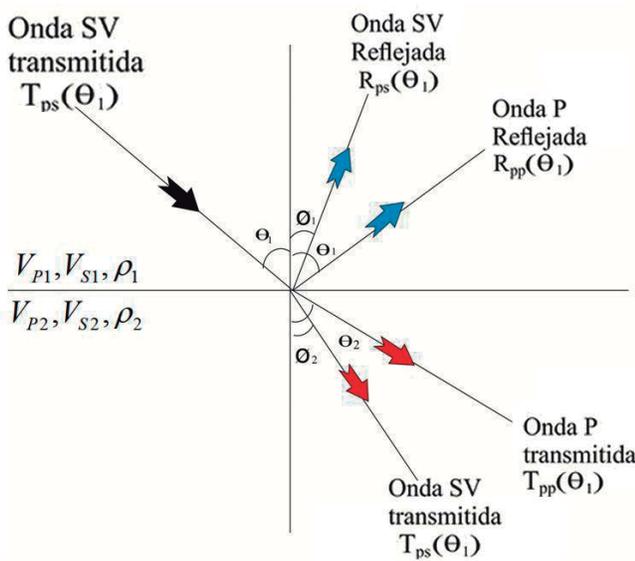
Esto ayudaría a lograr una mejor caracterización de reservorios y ubicaciones para posibles perforaciones de nuevos pozos, entre otras ventajas, como: cálculo de perfiles de invasión de los fluidos del pozo a partir de los registros de inducción, extracción de las litologías de las capas y las saturaciones de fluidos a partir de mediciones de interpretación de volúmenes de gas, petróleo y agua utilizando registros de producción, ayuda a la correlación de parámetros petrofísicos más fácilmente de lo que es posible hacer con las amplitudes sísmicas solamente, detectar heterogeneidades laterales aun cuando no son visibles en los datos sísmicos y aumentar significativamente la resolución vertical obtenida en la interpretación sísmica convencional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El método principal empleado es la sísmica de reflexión, con la variante de inversión sísmica que en la actualidad a nivel internacional ha tomado una gran connotación por los

resultados que se han alcanzado a través de su aplicación.

La teoría que da sustento a este método se basa en el modelo convolucional, que representa la suma de los productos de dos series temporales discretas en el dominio del tiempo (**Figura 1**). Se define como una serie de técnicas matemáticas capaces de obtener las propiedades del subsuelo, mediante el análisis de datos sísmicos y de registros de pozos. El problema inverso es el opuesto al modelado directo, este utiliza un modelo hipotético y una serie de ecuaciones para estimar la reflectividad.



**Figura 1.** Modelo sísmico básico. Modificado de Álvarez (2017)

La reflectividad será la relación entre amplitudes de las ondas incidente y reflejada, esta reflectividad responde a los cambios de impedancia acústica y se describe detalladamente en la **Ecuación 1** (Álvarez, 2017). Por lo tanto, la reflectividad será generada mediante un modelo convolucional que se representa matemáticamente de la siguiente forma matricial:

$$\begin{pmatrix} W_o & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & W_o & \dots & \vdots \\ W_{n-1} & \vdots & \vdots & 0 \\ 0 & W_{n-1} & \vdots & W_o \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & W_{n-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_0 \\ \vdots \\ R_{m-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_0 \\ \vdots \\ S_{n+m} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Donde:

$S_{n+m}$ ; Es el número de muestras que componen la traza sísmica.

$R_{m-1}$ ; Son las m-1 muestras que componen la serie de reflectividad.

W; Es la matriz para convolucionar la ondícula con cada elemento de la serie de reflectividad.

A partir de esto último se obtendrá el coeficiente de reflexión y la impedancia acústica de cada una de las trazas sísmicas, aunque para poder obtener esta propiedad intrínseca de las rocas a partir de la inversión sísmica simultánea es imprescindible conservar los *gathers* antes de ser sumados, y mantener conservadas las amplitudes (pre-apilado).

Como resultado se determinó que de las variantes estudiadas, la inversión simultánea fue la más factible para su aplicabilidad; esto es debido a que a partir de la misma y teniendo la conservación de los *gathers* antes de la suma se obtienen modelos de impedancia de la onda P, onda S y densidad, preservando la relación entre estos atributos. La ventaja del método radica en que se determinará la onda S, no siendo así en los demás métodos donde solo se obtendría con la aplicación de sísmica multicomponente, la cual es altamente costosa y no se ha efectuado en Cuba, o a través del registro sísmico dipolar pero sería en una zona y no en toda la extensión del área de interés, aunque este registro es necesario para la aplicación de esta variante.

La importancia de incluir la onda S trae consigo poder identificar con mayor grado de exactitud anomalías de amplitud, contacto agua petróleo, determinar una zona más adecuada para proponer la extensión de un pozo y realizar con mayor calidad la caracterización de reservorio. Esto se realiza a partir de la ecuación exacta de Zoeppritz, donde es examinado el comportamiento de las velocidades de las ondas en función del ángulo de incidencia donde, una onda sísmica al atravesar la interfaz entre dos medios con diferentes propiedades acústicas, sufrirá una partición de su energía, y una parte se reflejará y la otra se transmitirá. Obteniéndose cuatro componentes: dos reflejados ( $P_{ref}$  y  $S_{ref}$ ) y dos transmitidos ( $P_{tran}$  y  $S_{tran}$ ).

La ecuación exacta de Zoeppritz se ajusta a las condiciones geológicas del sector tomado para esta investigación, que representa un segmento del cinturón sobrecorrido norte cubano, el cual, debido a los movimientos tectónicos durante la orogenia que afectó el Margen Continental cubano en el período Cretácico – Eoceno Inferior, presenta estructuras con ángulos de inclinación

superiores a 500 grados, con el empleo de dicha ecuación podrá ser estimado el comportamiento de las ondas, posibilitando su aplicación con valores de ángulos variables hasta 75 grados o más, lo que no sucede con otras aproximaciones de la misma ecuación realizadas por Aki-Richard y otros.

Existen varios tipos de inversiones sísmicas, las cuales son aplicadas a partir de la tarea técnica a resolver y sobre la base de los datos disponibles. Mientras mayor información se tenga y menos datos haya que estimar, así será la calidad de la respuesta y la solución a determinados problemas. Sin embargo, las demás variantes que se analizaron se desarrollan después de la suma de trazas y a pesar de que arrojan buenos resultados para la caracterización de yacimientos, no podría obtenerse los valores de impedancia de la onda S.

## RESULTADOS

Como resultado del análisis bibliográfico se verificó la existencia de una división en los principales tipos de inversión sísmica. Esta división presenta algunas de las variantes utilizadas comúnmente y la subdivisión de las mismas en las categorías de pre-apilado (antes de la suma de trazas) y post-apilado (después de la suma de trazas). A continuación, se hará referencia a los tipos de inversión sísmica que se analizaron para determinar cuál sería la más conveniente para su aplicación en un sector del norte de Cuba. Las descripciones de las diferentes inversiones fueron consultadas en Álvarez (2017).

### Inversión pre-apilado

**Inversión simultánea:** El objetivo de los procesos de inversión simultánea es hacer estimaciones confiables de impedancia de las ondas P, S y densidad, con el fin de predecir presencia de fluidos y litologías. La inversión simultánea tiene ventajas sobre la inversión post-apilado, porque produce tres volúmenes simultáneamente: impedancia de ondas P, impedancia de ondas S y densidad, preservando la relación entre los tres atributos. Este método presenta su base matemática en la ecuación exacta Zoeppritz.

### Inversión Post-apilado

**Inversión basada en modelo:** Es un método de inversión fundamentado en el modelo convolucional, a diferencia de otros métodos y como su nombre lo indica, utiliza un modelo inicial de impedancia de onda P de baja frecuencia,

generado a partir de los registros de pozo y la información de horizontes. Este método está basado sobre el método de inversión lineal generalizada, que fue propuesto el año 1983 por Cooke y Schneider como un reemplazo a la inversión recursiva. La inversión lineal generalizada (GLI), a veces conocida como modelo de perturbaciones, es aplicada a un conjunto de datos sísmicos reales con el objetivo de obtener un perfil de impedancias acústicas en función del tiempo, para cada traza sísmica. Este método se utiliza muchas veces en conjunto con la inversión simultánea.

**Inversión recursiva:** Esta inversión busca recuperar la impedancia acústica a partir de la traza sísmica, con la condición de conocer primero la impedancia y el coeficiente de reflexión de la primera capa. Esta inversión funciona como una forma de extraer valores de porosidad de acuerdo con la ecuación de Wyllie y la corrección de lutita.

**Inversión de impulsos separados (Sparse-spike):** Es una técnica de deconvolución, que genera un modelo de reflectividad y estima una ondícula basada en este modelo. Después se invierte la reflectividad generada por deconvolución mediante un proceso recursivo. Las técnicas utilizadas para la deconvolución y la inversión son: Máxima semejanza, Norma L1 y mínima entropía.

**Inversión de onda o inversión de velocidad:** Consiste en invertir la dispersión, generando mapas de inversión del subsuelo, mediante observaciones de varias fuentes acústicas. Este método se basa en la ecuación de la onda. Es diferente a las demás inversiones porque lo que busca es determinar el mejor modelo de velocidades que se ajuste a la realidad.

**Inversión de tiempo de viaje sísmico o tomografía sísmica:** En este tipo de inversión se infiere la estructura del subsuelo utilizando medidas del tiempo de viaje sísmico. Obteniendo parámetros de velocidad y profundidad.

A partir de la investigación bibliográfica y sobre la base teórica de cada una de ellas, las cuales indican su alcance, se determinó que de todas las variantes estudiadas la más conveniente sería la inversión sísmica simultánea. Esto es debido a que para dar cumplimiento a la problemática planteada de determinar cuál de los tipos de inversión sísmica sería más factible para su aplicación en nuestro país, esta variante era la más fidedigna porque se ajustaba a las condiciones geológicas ya mencionadas;

donde se conoce la alta complejidad producto del sobre-corrimiento de las estructuras y se encuentran las mayores reservas de hidrocarburos al norte de Cuba.

**Inversión coloreada (Colored Inversion):** Lancaster and Whitcombe (2000) publicaron un método rápido para la inversión de banda limitada de datos sísmicos, conocida como inversión coloreada (CI), que generó un amplio interés entre los interpretadores. Reconociendo que el popular proceso de inversión por impulsos separados podría ser aproximado mediante un operador simple, produciendo la impedancia relativa mediante la convolución simple con los datos de reflectividad, los autores demostraron que este operador es derivado de los registros de pozo. Al igual que las otras inversiones, la CI ayuda a eliminar los efectos de manchas o borrones de las ondículas sísmicas, y realzar rasgos tales como las capas finas y las discontinuidades.

Más aun, debido a que la CI está relacionada directamente a los datos sísmicos, la impedancia relativa que ella produce es usada como una base para comparación con otras inversiones para ver qué tipo de información es introducida por las restricciones numéricas o por el modelo de bajas frecuencias.

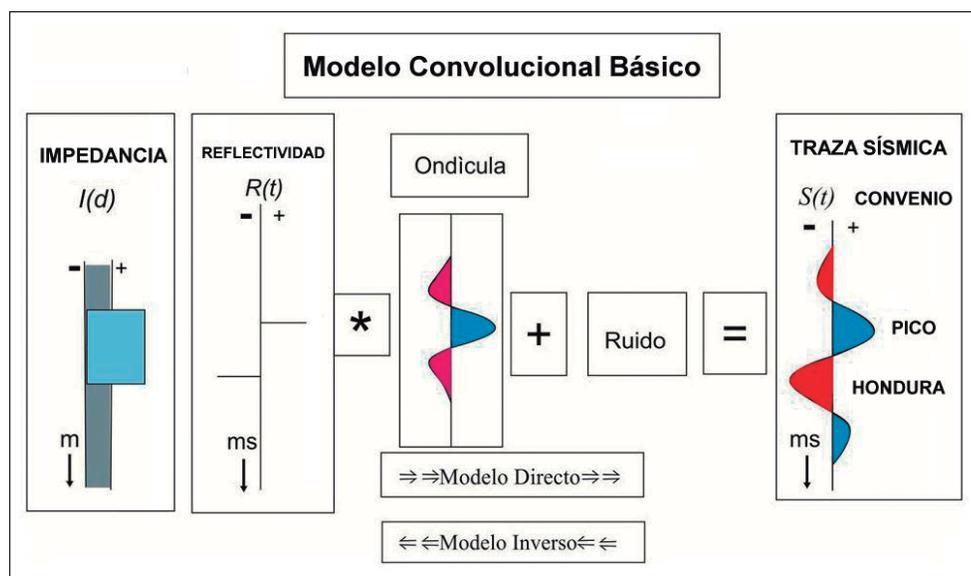
**Inversión por algoritmo genético:** Esta técnica provee la habilidad de generar rápidamente propiedades petrofísicas estimadas de los volúmenes sísmicos o de atributos con una preparación mínima de los datos siendo imprescindible trabajar tanto el dato sísmico como el de pozo en un mismo dominio. No es necesario definir un modelo de bajas frecuencias o estimar una ondícula. Sin embargo,

el amarre preciso de pozos y la calibración tiempo-profundidad son necesarios. Schlumberger (2012).

## DISCUSIÓN

Como se conoce, la inversión sísmica busca relacionar propiedades elásticas del yacimiento usando un modelo construido a partir de información física de la roca, y de registros de pozos. Esto es posible porque las ondas sísmicas se reflejan en las interfaces existentes entre los materiales que poseen propiedades acústicas diferentes. No obstante, los datos sísmicos tienen información que trasciende la localización del reflector; la onda sísmica lleva toda la información del medio por el cual se propagó, ya que esta se encuentra gobernada por la respuesta general de los parámetros de la roca, tales como: litología, porosidad, forma del poro, mineralogía, tipo de fluido, presión de poro, saturación de fluido y temperatura, donde por medio de la inversión se busca inferir y recuperar esta información, Álvarez (2017). Sin embargo diferentes tipos de roca con distintas calidades de hidrocarburo arrojan la misma medición de impedancia de onda P, ya que esta representa la suma del efecto total generado por la litología, porosidad y fluidos Hampson y Russell (2005). Por consiguiente es complejo separar las propiedades del depósito solo con la medición de impedancia de la onda P.

Para esto, es necesario la conversión descrita por Zoeppritz, (1919), donde propone que un rayo incidente, al atravesar la interface entre dos medios con diferentes propiedades acústicas sufrirá una transformación de los rayos incidentes. Dos reflejados y dos transmitidos como se muestra en la **Figura 2**.



**Figura 2:** Conversión de una onda P incidente en onda P y SV transmitidas en el límite entre dos capas con diferentes velocidades de onda P, S y densidad. Russell (2014).

Esta metodología busca determinar la distribución de saturación de fluidos, porosidad y litología, en relación con la sísmica y las anomalías generadas por presencia de hidrocarburo. Al aplicar esta inversión, es necesario generar un modelo de impedancias, el cual apoya en gran medida la posibilidad de determinar en la etapa de interpretación áreas más factibles dentro de un reservorio a contener fluidos asociados a hidrocarburos como ya se explicó.

Una de las principales ventajas de este método es que es un buen discriminador de fluidos ya que la onda S solo se propaga por la matriz de la roca y al combinar los valores de impedancias de ondas P y S, se obtienen atributos como  $\lambda$ -rho y  $\mu$ -rho. Conociendo los valores de compresibilidad ( $\lambda$ -rho) y rigidez ( $\mu$ -rho) donde muestre una buena anomalía generada por los dos atributos e implementando datos de producción, se podrá determinar una zona más adecuada para proponer el emplazamiento de nuevos pozos. Igualmente al obtener los valores de impedancia de las ondas P y S se calcula el atributo conocido como la impedancia de Poisson (PI), que permite distinguir las diferencias entre hidrocarburo, agua y arena, lo cual es un buen discriminador del contacto agua petróleo. Además pudiera realizarse con mayor confiabilidad el estudio de la anisotropía a partir de la variación del ángulo de incidencia entre dos interfaces, pudiéndose estudiar la variación de la impedancia acústica en diferentes direcciones, y sobre la complejidad geológica existente en Cuba la cual dificulta la correcta estimación de la anisotropía en las rocas.

Estos valores de impedancia se obtienen como resultado de las ecuaciones de Zoeppritz que en 1919, logra obtener amplitudes de ondas reflejadas y transmitidas, a partir del movimiento de sus partículas, es decir a través de sus ecuaciones obtiene coeficientes de reflexión que varían en función del ángulo de incidencia. Este proceso de inversión es utilizado por muchas disciplinas y por una amplia gama de escalas y con niveles de complejidad variable.

Pero debido a la alta complejidad de las ecuaciones han sido simplificadas a lo largo de los años y han servido como piedra angular en investigaciones de diferentes autores, que con ello llegaron a obtener diferentes parametrizaciones y aproximaciones de las ecuaciones de Zoeppritz. Como Shuey en (1985) con la impedancia de onda (ZP) y el cociente de Poisson (Q). En Connolly (1999) con la impedancia elástica (IE) o Whitcombe *et*

*al.* (2002) con la impedancia elástica extendida etc. Aki y Richards, 2002 crean una nueva simplificación de la ecuación original; donde proponen una suma lineal de tres términos, para describir la magnitud del coeficiente de reflexión de onda P, onda S, y densidad, a través de los límites entre dos medios elásticos. Sin embargo, al realizar esta aproximación de Aki y Richards disminuyen la complejidad de la ecuación original, tomando diferentes consideraciones como: el ángulo de incidencia es hasta 45 grados, discriminando la presencia de ambientes geológicos de complejidad significativa donde se supone baja variabilidad de las velocidades, provocando la no consideración de grandes cambios de este atributo en ambientes complejos. Por consiguiente el uso de estas aproximaciones de las ecuaciones originales de Zoeppritz, las cuales son las más utilizadas a nivel internacional, no podrán ser empleadas en nuestro contexto nacional, debido a las grandes variaciones de velocidades del área producto al ambiente compresivo presente y a los grandes buzamientos que presentan las estructuras donde se encuentran los grandes reservorios de nuestro país. Por lo que será necesario trabajar con la ecuación exacta de Zoeppritz, que sí considera la variabilidad de los ángulos de incidencia en las diferentes capas del subsuelo.

## CONCLUSIONES

Se determinó, a partir de la recopilación e investigación bibliográfica, que la variante de inversión sísmica más factible que pudiera ser empleada en nuestro país, es la inversión sísmica simultánea ya que ninguna de las demás inversiones posibilita estimar la impedancia de la onda P, S y densidad manteniendo la relación entre los tres atributos, además permite calcular la impedancia de Poisson para la diferenciación del contacto agua petróleo y la impedancia elástica a partir el ángulo de incidencia para el estudio de la anisotropía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aki, K., and Richards, P. G.,** 2002, Quantitative Seismology, 2da. Edition. W. H. Freeman and Company.
- Álvarez, G.I.,** 2017, Análisis sísmico de Inversión simultánea aplicado a yacimientos Terciarios, en la cuenca de Veracruz, México, México, tesis, Universidad Nacional Autónoma de México: 97 p.

- Cersosimo, D., C. Ravazoli, R. García Martínez,** 2005, Inversión sísmica de un modelo teórico calculado sobre un horizonte sísmico utilizando redes neuronales. Petrobras Energía Exploración Argentina: 8p.
- Connolly P.,** 1999, Elastic impedance. The Leading Edge, 18, 438–352.
- Hampson, D., B. Russell, and B. Bankhead,** 2005, Simultaneous inversion of pre-stack seismic data: Ann. Mtg. Abstracts, Society of Exploration Geophysicists.
- Liu, W., Y. Wang,** 2018, Multicomponent prestack joint AVO inversion based on exact Zoeppritz equation. Journal of Applied Geophysics, 159: p 69-82.
- Morales, D. F.,** 2016, Análisis sísmico 4D a partir de inversión elástica en un yacimiento sometido a un proceso de recuperación térmica, <http://bdigital.unal.edu.co/56821/7/DiegoF.MoralesLe%C3%B3n.2016.pdf>, Colombia, tesis, Universidad Nacional de Colombia: 109 p.
- Ramírez, A. R. y M. Bosh.** 2013. Inversión sísmica y petrofísica utilizando el método de optimización, (Venezuela) Vol. 28, No. 2: pp. 53-64.
- Russell, B.,** 2014, Prestack seismic amplitude analysis: An integrated overview. SEG Interpretation, Vol. 2, No.2. pp. 19-36.
- Shuey, R. T.,** 1985, A simplification of Zoeppritz Equations. Geophysics: 50, 609 – 814.
- Schlumberger.** Interpreter's Guide to Seismic Attributes - Fourth Edition. 2012.
- Zoeppritz, K.,** 1919, Erdbebenwellen VIII B, Über die Reflexion und Durchgang seismischer Wellen durch Unstetigkeitsflächen: Gottinger Nachr, 1, 66-8
- Whitcombe, D. N., P. A. Connolly, R.L. Reagan, and T.C. Redshaw,** 2002, Extended elastic impedance for fluid and lithology prediction: GEOPHYSICS, Soc. of Expl. Geophys., 67, 63-67.

