

## CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO INTERPOLADOR DE TRAZAS SÍSMICAS RELACIONANDO TRANSFORMACIÓN DE DOMINIO Y PROGRAMACIÓN DINÁMICA

### PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA TOPOGRÁFICA

**Autor (es):** Juan David Ferro Falla – davidferro93@gmail.com  
Reinaldo Corredor Romero – reynaldo.corredor@gmail.com

**Docente director:** Robinson Quintana Puentes

### PALABRAS CLAVE:

Sísmica, perturbación, geófono, trampas, hidrocarburo, algoritmos

*“El avance tecnológico y desarrollo de nuevas plataformas que permiten reducir los impactos ambientales, económicos y sociales en los procesos de exploración sísmica constituyen la nueva era de la prospección geofísica”*

### CONTEXTO

El método de exploración sísmica data de 1920 cuando se utilizó por primera vez en EEUU generando un terremoto artificial para retratar la composición geológica del subsuelo, y se usó en la primera guerra mundial en Francia para avisar a los parisinos del pronto ataque de las fuerzas rivales; esto debido a que el sonido se propaga más rápido en el subsuelo que en el aire. (Gadallah & Fisher, 2005).

Mintrop en 1922 perfeccionó la técnica y luego en 1923 se realizaron experimentos en Estados Unidos donde se logró identificar el domo de sal “Orchard” en Texas siendo este uno de

los yacimientos petroleros más importantes de EEUU. Esta técnica fue rápidamente acogida y las primeras brigadas de sísmica llegaron a Canadá en el verano de 1926. En Colombia en 1974 bajo la presidencia de Alfonso López Michelsen se intensificó la exploración petrolera pero solo en el año de 1985 se implementó mediante el procedimiento geofísico de la sismología obteniendo como resultado la identificación de 23 cuencas sedimentarias a la fecha mediante este método (ANH 2007).

El procedimiento de adquisición sísmica se subdivide en varias fases; el proceso comienza con un grupo de geólogos y/o

geofísicos que hacen el estudio preliminar del subsuelo y definen el área en donde la geología sugiere que el hidrocarburo podría estar almacenado. Luego se determinan los parámetros de adquisición, tipo de estudio (2D o 3D), distanciamiento de líneas fuente y receptoras, Dirección o azimut de las líneas, tipo de perturbación ya sea por vibradores, planchas, tamper o profundidad de perforación y cantidad de material fuente de energía por hueco, la densidad de los puntos de disparo y de recepción. Posteriormente se inicia la fase de socialización del proyecto, solicitud de los permisos a los propietarios de los predios para desarrollar el proyecto y posteriormente la fase de topografía encargada de hacer la ubicación de las líneas de recepción de información y las líneas fuente. Simultáneamente inicia la fase de perforación o localización de las zonas de ubicación de los vibros según diseño. Una vez concluidas estas dos etapas se procede a colocar en todos los puntos de recepción equipos altamente sensibles llamados geófonos conectados entre sí y a la vez a una central de almacenamiento de la información llamada generalmente casa blanca

donde se encuentra el equipo de registro encargado de almacenar, procesar y graficar las señales transmitidas por los geófonos. Esto posteriormente es suministrado al procesador quien revertirá esta información al software de proceso donde se revisa la geometría, se quitan los ruidos, y se ajustan los parámetros para generar una sección sísmica 2D (perfil estratigráfico) o un volumen de datos 3D, para que sean interpretados por un geofísico quien determinara si es viable la perforación de pozos de producción.

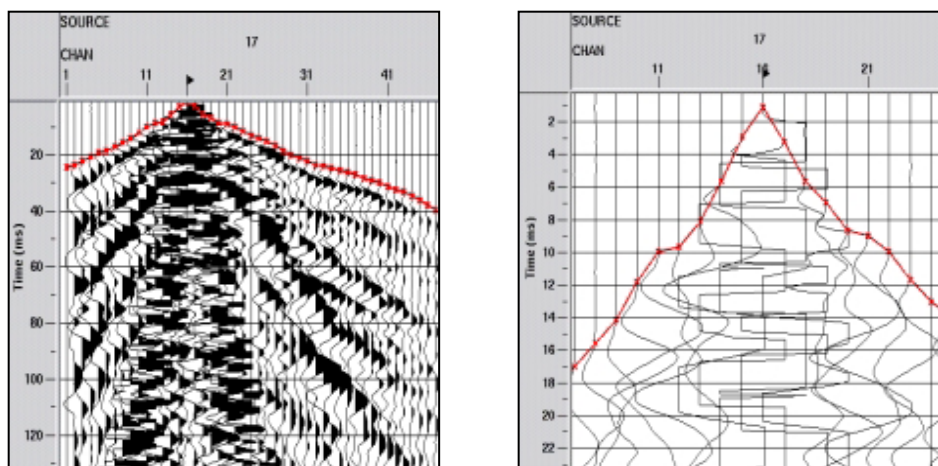
## JUSTIFICACIÓN

El procedimiento de adquisición sísmica está directamente relacionado con el entorno geográfico y las restricciones de tipo técnico, ambiental y social que afectan significativamente la calidad de los datos obtenidos. Por lo general los procesos de exploración sísmica se desarrollan en condiciones no ideales o desfavorables, lo que obliga a fortalecer los procedimientos en el procesamiento de la información con el fin de obtener una buena calidad en el producto final.

Uno de los factores que más afecta la calidad del procesamiento de los datos sísmicos es la adquisición por diferentes fuentes de energía debido a la irregularidad topográfica que obliga a la utilización en algunas zonas de un explosivo llamado sismigel al cual se le atribuyen grandes daños ambientales como la infiltración de los acuíferos superficiales y subterráneos; o el uso de fuentes vibratorias que en sí no generan mayor daño en su proceso vibratorio, pero para su ubicación es necesaria la deforestación de corredores hasta de 5 metros de ancho por la longitud de la línea sísmica generando un impacto ambiental de consideración; y por otro

lado el uso de pistolas neumáticas para la obtención de información sobre el lecho marino. Otros de los factores que afectan la adquisición de datos sísmicos son las grandes diferencias en altura entre los puntos fuente de energía y los puntos de recepción; sin dejar de lado los avances tecnológicos para la adquisición en zonas de transición y la longitud de los cables, y por último la necesidad de adquisición 2D para definir las estructuras geológicas y posterior adquisición 3D para determinar áreas y volúmenes para lo cual se requiere mayor densidad y mayores posibilidades de errores sistemáticos o humanos.

**Imagen 1:** proceso de recuperación de la traza sísmica a través del algoritmo desarrollado



El proceso de adquisición sísmica es uno de los métodos geofísicos más usados para determinar las fallas geológicas donde generalmente se depositan los hidrocarburos, específicamente la sísmica de reflexión que se puede desarrollar en tres medios: terrestre, marino y zonas de transición, para lo cual se usan diferentes fuentes de energía que pueden ser vibratorias o impulsivas las cuales al ser activadas generan las ondas elásticas que se propagan a través del subsuelo pasando las diferentes capas rocosas, las cuales tienen características físicas y geológicas específicas. La energía liberada se refleja formando un campo de ondas el cual contiene la información de los reflectores del subsuelo. Al retornar estas ondas a la superficie son recepcionadas por equipos de alta sensibilidad llamados geófonos cuando el estudio es terrestre o hidrófonos para el caso marino, los cuales están interconectados entre sí y con una central de recepción de información donde es almacenada en forma digital en discos duros dispuestos en el equipo de registro. Posteriormente la información es llevada a centros de procesamiento donde se le realiza la depuración o fil-

trado con software especializado realizando una secuencia ya establecida y cumpliendo los requerimientos de la operadora interesada en el resultado del estudio.

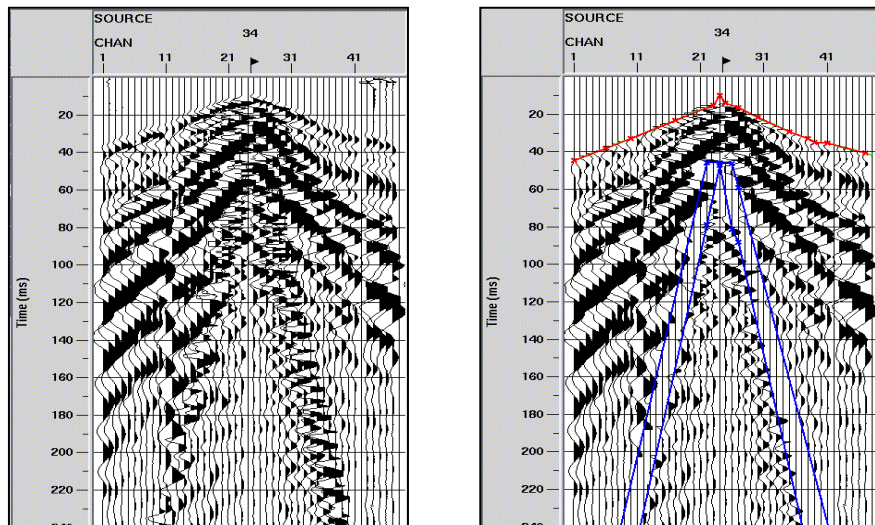
Debido a la dinámica del proceso de adquisición en algunas ocasiones por fallas sistemáticas o humanas como la mala conexión o daños intempestivos de los geófonos o hidrófonos la información de una o varias trazas se pierde o es encriptada por el software, lo cual impide el correcto procesamiento de la información generando sobrecostos, pérdida de tiempo y baja calidad y credibilidad de la información; por tal motivo es necesario repetir todo el proceso de campo para subsanar o corregir la información suministrada al departamento de proceso con el fin de obtener óptima calidad.

Este proyecto obedece a la necesidad que presenta el área de la ciencia, la prospección geofísica, específicamente la exploración sísmica en la fase de procesamiento de datos. En esta etapa, en ocasiones las trazas pierden información por múltiples factores

o es necesario eliminarla por presentar una sola frecuencia, por polaridad inversa, o por la exis-

tencia de ruido excesivo lo cual no permite diferenciar las frecuencias de interés.

**Figura 1:** resultado de la eliminación en forma directa de las ondas aéreas y de las primeras refracciones de un registro sísmico por ruido excesivo



Para recuperar la información y obtener un buen procesamiento es necesario realizar la reperfusión del punto fuente de energía o la ubicación de los equipos vibratorios en el sitio donde inicialmente se realizó la toma de datos; todo esto generando sobrecostos, mayor tiempo de exposición del personal y equipos, afectaciones ambientales, sociales y pérdida de calidad y credibilidad del proceso.

Haciendo uso de las múltiples iteraciones ejecutadas y los procesos matemáticos como las transformaciones de Fourier se generó el diseño de un modelo matemático mediante un algoritmo programado en Java NetBeans que permita recuperar la información de las trazas perdidas sin necesidad de realizar re-procesos en campo, evitando afectaciones ambientales, sociales y sobrecostos a los procesos exploratorios.



## DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

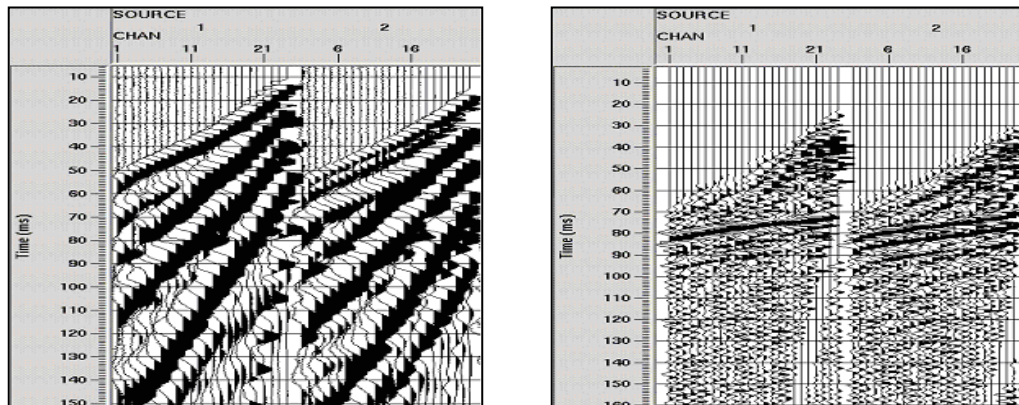
Uno de los métodos más usados en la tierra para la ubicación de hidrocarburos es el método de exploración sísmica, que consiste en localizar topografía de una malla o grilla de puntos sobre la superficie del suelo previamente diseñada, en la cual se genera unas perturbaciones haciendo uso de mecanismos como vibradores o perforaciones para introducir a una profundidad definida por los geofísicos un material fuente de energía llamado sismigel; en otros puntos se ubican unos equipos electrónicos altamente sensibles llamados geófonos encargados de recibir y transmitir esta información a una central donde es almacenada y posteriormente interpretada por personal especializado, quienes definirán las fallas geológicas del subsuelo donde posiblemente se encuentre depositado el hidrocarburo. En ocasiones la información de un arribo se encripta de tal manera que no permite su lectura, por tal razón se hace necesario realizar todo el procedimiento de campo para obtener nuevamente los datos; el objetivo principal de este proyecto fue la construcción de un modelo matemático

y computacional que permite recuperar las trazas sísmicas dispersas o perdidas en la exploración sin necesidad de repetir el proceso de campo, mitigando impactos ambientales, sociales y económicos.

## Resultados del Trabajo

- Realizado el estudio y análisis de uno de los métodos geofísicos para la detección de hidrocarburos como es el proceso de exploración sísmica, se pudo establecer que en el procesamiento de los datos sísmicos era posible diseñar herramientas confiables que permitirían realizar la recuperación de información de trazas sísmicas perdidas o encriptadas en el momento de la adquisición. Para lograr este objetivo se desarrolló un modelo matemático computacional relacionando la transformación de Fourier, basado en múltiples iteraciones, usando el problema inverso en la prospección geofísica aplicado mediante una programación dinámica.

**Figura 2:** Aplicación del balance de amplitud y procedimiento de deconvolución luego de haber sido sometida a un filtro pasa-banda



- Para el desarrollo del algoritmo fue necesario exportar la información de algunas trazas sísmicas (10), haciendo uso de uno de los softwares especializados “ProMAX” al software Matlab generando un archivo plano de cada una de las trazas que permitió visualizar la información (tiempos en milisegundos y amplitudes de onda). Obtenida esta información se planteó el problema suprimiendo una traza intermedia y mediante el algoritmo creado en el software Java NetBeans se realizaron los procesos matemáticos computacionales necesarios para conseguir el objetivo planteado. La información de las trazas sísmicas fue suministrada por una prestigiosa compañía de procesamiento de datos sísmicos que opera en el país, que recurrió al archivo muerto del año 2014 con el fin de no generar dificultades de tipo legal, pero que se encuentra interesada en el desarrollo de este proyecto.
- Una vez desarrollado el algoritmo se procedió a realizar la comprobación de la efectividad de este. Inicialmente se grafica la información secuencial de las trazas con el fin de visualizar el comportamiento real de las ondas elásticas en el subsuelo obteniendo una imagen la cual se almaceno para posterior comparación. Posteriormente se

suprimió la información de una de las trazas intermedias y aplicando el algoritmo desarrollado se logró obtener la información de la traza perdida o faltante, graficando igualmente esta información y archivando esta nueva imagen. Al realizar la comparación de las dos imágenes y de los datos obtenidos por la herramienta desarrollada se pudo comprobar que los resultados son muy aproximados (90%) a los reales. Este mismo procedimiento se realizó en diferentes intervalos con resultados satisfactorios.

- En el proceso de adquisición sísmica se presentan errores sistemáticos inesperados por fallas en los equipos electrónicos, desajustes en el sincronismo del equipo de registro o baja energía de la fuente generadora entre otros; de igual manera errores humanos comunes como conexiones invertidas de las ristas a las cajas de cruce y cajas de paso con los demás elementos que conforman el sistema de registro. Debido a estas inconsis-

tencias no detectadas por los observadores en el momento de chequear y alistar la línea sísmica para el registro, en muchas ocasiones la información no es recepcionada por los geófonos generando pérdida de información y ocasionando la repetición del procedimiento de adquisición acarreado sobre costos, pérdida de tiempo operativo, incomodidad a los residentes del sector donde se realiza el estudio y afectaciones ambientales y sociales. Con la implementación de la herramienta generada es posible recuperar esta información sin necesidad de realizar los reprocesos minimizando las consecuencias anteriormente descritas sin afectar la calidad y confiabilidad de los resultados del estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Correa Correa Heidi Alejandra, Ramírez Mejía David Alejandro, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, análisis de la



utilidad de la descomposición espectral en la detección directa de hidrocarburos en el campo stratton, eua.

Cheney, W.; Kincaid, D., "Numerical Mathematics and Computing", Brooks/Cole, Monterrey (California) (1980).

De la Peña Rafael Bartolomé, Consejo superior de Ingeniería Científica (CSIC), Programa de Doctorado de Geofísica, Universidad de Barcelona, 02 RBP Capitulo 2.

Estrada Luis A, Facultad de Ciencias Exactas y tecnología departamento de Geodesia y Topografía, Universidad Nacional de Tucumán, Procesamiento de Datos Geofísicos.

(Gadallah & Fisher, 2005), Cambridge University Press, Capítulos 2 y 3. Looking into the Earth. An introduction to Geological Geophisics.

Herrera Yajaira, Cooper Norman, Resources

Mustagh LTD, Agencia Nacional de Hidrocarburos, departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Manual para la Adquisición y Procesamiento de Sísmica Terrestre y su Aplicación en Colombia. (ANH 2007)

Lastra, Ojeda Romel J, Grisel A Cesar, Fernández Ameijeiras, Centro de Investigaciones del Petróleo. Churruca No 481, Cerro, La Habana, Cuba, CP 12000. Algunos factores que afectan el procesamiento de los datos sísmicos en la prospección petrolera.

Sterling, N., Diaz, R., Díaz, A. 2008. Atenuación de las ondas múltiples. En: Desarrollo y aplicación de nuevos enfoques teóricos y prácticos de procesamiento sísmico 2D y 3D. Lastra M. Archivo CEINPET. La Habana, 130 p.

Vestrum, R. y Lawton, D. 2009. Reflection point sideslip and smear in imaging below dipping anisotropic media, [en línea], Consultado: enero 2012. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2478.2009.00849.x/abstract>.

Yilmaz, O. 2001. Seismic Data Analysis. Edit. SEG, Tulsa, 2027 p. Cunill Mericy .