

Definición de parámetro de carga y profundidad en adquisición sísmica para hidrocarburos con fuente explosiva utilizando preprocesamiento básico

Definition of charge and depth parameter in seismic acquisition for hydrocarbons using explosive sources through basic preprocessing

Willian Hernán Calero Navarrete¹ 

¹ Universidad Central del Ecuador, willian.calero@hotmail.com, Quito - Ecuador

Autor para correspondencia: willian.calero@hotmail.com

RESUMEN

La adquisición sísmica terrestre con fuente explosiva constituye una herramienta clave en la exploración de hidrocarburos, ya que la adecuada definición de los parámetros de carga y profundidad de disparo incide directamente en la calidad y confiabilidad de la imagen sísmica obtenida. El objetivo de este estudio es determinar el patrón óptimo de carga y profundidad mediante una evaluación comparativa de distintos diseños experimentales, considerando la respuesta del terreno y la profundidad de los horizontes de interés. El alcance del trabajo se centra en la ejecución de una prueba de carga y profundidad integrada por nueve configuraciones de disparo. La metodología incluyó un flujo de preprocesamiento sísmico básico que contempló la recuperación de amplitudes y verdaderas, deconvolución FXY, filtro pasa bandas, correcciones estáticas, residuales, NMO (Normal Moveout Correction) y análisis espectral. Los resultados muestran diferencias significativas entre los patrones evaluados en términos de amplitud, relación señal/ruido y contenido de frecuencias, lo que permitió identificar las configuraciones más eficientes para la adecuada iluminación de objetivos profundos. La discusión evidencia que una selección inadecuada de los parámetros de carga y profundidad puede generar saturación de primeros arribos y pérdida de energía en offsets lejanos, afectando el procesamiento y la interpretación sísmica.

Palabras clave: Carga; Profundidad; Amplitudes; Señal/ruido; Offset.

ABSTRACT

Ground-based seismic acquisition using explosive sources is a key tool in hydrocarbon exploration, as the proper definition of the firing charge and depth parameters directly impacts the quality and reliability of the resulting seismic image. The objective of this study is to determine the optimal firing charge and depth pattern through a comparative evaluation of different experimental designs, considering the ground response and the depth of the target horizons. The scope of this work focuses on the execution of a firing charge and depth test using nine different firing configurations. The methodology included a basic seismic preprocessing workflow that encompassed amplitude and true amplitude recovery, FXY deconvolution, bandpass filtering, static and residual corrections, normal moveout correction (NMO), and spectral analysis. The results show significant differences between the evaluated patterns in terms of amplitude, signal-to-noise ratio, and frequency content, allowing the identification of the most efficient configurations for adequate illumination of deep targets. The discussion shows that an inappropriate selection of load and depth parameters can lead to first-arrival saturation and energy loss at distant offsets, affecting seismic processing and interpretation.

Keywords: Load; depth; Amplitudes; Signal-to-noise ratio; Offsets.

Derechos de Autor

Los originales publicados en las ediciones electrónicas bajo derechos de primera publicación de la revista son del Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui, por ello, es necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total. Todos los contenidos de la revista electrónica se distribuyen bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-4.0 Internacional](#).



Citar como:

Calero Navarrete, W. H. Definición de parámetro de carga y profundidad en adquisición sísmica para hidrocarburos con fuente explosiva utilizando preprocesamiento básico. *CONECTIVIDAD*, 7(2), e430. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v7i2.430>

1. INTRODUCCION

Los datos sísmicos constituyen una de las principales herramientas en la exploración y desarrollo de yacimientos de hidrocarburos, debido a su capacidad para proporcionar información acerca de las estructuras geológicas del subsuelo (Nwaezeapu et al., 2019)

Dentro de las técnicas geofísicas, la sísmica de reflexión constituye uno de los métodos más utilizados en exploración, debido a su eficiencia para identificar con precisión la forma y posición de los reflectores en el subsuelo a partir del análisis de las ondas reflejadas en las interfaces geológicas (Barbosa, 2005).

La prueba de carga y profundidad constituye una técnica que se ejecuta previamente al inicio de la campaña de adquisición sísmica, y en particular antes de la perforación y cargado de pozos en un proyecto de exploración de hidrocarburos. Su objetivo principal es definir los parámetros más adecuados en función de las condiciones geológicas y operativas del área de estudio. Dichos parámetros influyen de manera directa en la calidad de la imagen sísmica obtenida, en la eficiencia de la iluminación de los horizontes de interés y en el equilibrio entre el costo operativo, el desempeño técnico y los criterios de sostenibilidad ambiental

Según Amadike et al. (2024):

Destaca que la integración de datos de pozo y las técnicas avanzadas de procesamiento han incrementado la confiabilidad de las imágenes sísmicas 2D o 3D; en este sentido, el procesamiento sísmico constituye una etapa fundamental, ya que considera los efectos de las variaciones del subsuelo en la estimación de los parámetros de estudio. (p. 11)

Los resultados de proceso permiten mejorar la eficiencia y precisión de las imágenes sísmicas, especialmente con los objetivos profundos (Babu et al., 2022).

El diseño de la prueba de carga y profundidad está conformado por tres sets de pozos (A, B y C), con profundidades de 20 m, 15 m y 10 m, cargados con 2 kg, 1.5 kg, y 0.5 kg, respectivamente. De la prueba se obtienen nueve registros sísmicos, cada uno con sus respectivos parámetros de carga y profundidad. Posteriormente, estos registros se someten a una secuencia básica de preprocesamiento, con el objetivo de definir los parámetros ideales que se aplicarán en el proyecto de adquisición sísmica. La relación señal/ruido (S/N) dependiente de la frecuencia es un parámetro clave en la adquisición de perfiles sísmicos verticales mediante detección acústica

distribuida (Alzamil et al., 2022).

Con base en el análisis comparativo de amplitudes, señal/ruido (S/N) y el contenido de frecuencias, se definirá cuál es el patrón ideal que será aplicado en el proyecto, garantizando la obtención de datos con estándares internacionales, que servirán para futuros estudios geológicos y geofísicos en el desarrollo del campo petrolero.

En sismica de refracción para el cálculo de la longitud de la línea de prueba se utilizó la regla de 1 a 1,5 veces la profundidad del horizonte de interés más profundo (Liu et al., 2025). El muestreo de la longitud de la línea es de gran importancia para los procesadores de datos al calcular soluciones estáticas (Stone, 1994).

Los avances en las técnicas de adquisición y procesamiento sísmico han ampliado significativamente la capacidad de obtener información geológica. La implementación de algoritmos avanzados de procesamiento e interpretación permite una caracterización más precisa de los rasgos estructurales y estratigráficos, así como una mejor identificación del potencial de acumulaciones de hidrocarburos. El tratamiento de una traza sísmica como una señal analítica posibilita su transformación al dominio de coordenadas polares, a partir del cual se derivan atributos fundamentales como la intensidad de reflexión y la fase instantánea. Estas propiedades, en conjunto con otros atributos derivados, constituyen los denominados atributos sísmicos, los cuales representan herramientas esenciales para la interpretación sísmica avanzada (Taner & Sheriff, 1977).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de investigación empleada para definir el parámetro de carga y profundidad en un proyecto de adquisición sísmica consiste en realizar un preprocesamiento básico de cada shotpoint (punto de tiro), como si fuera una sección sísmica independiente, utilizando el siguiente flujo:

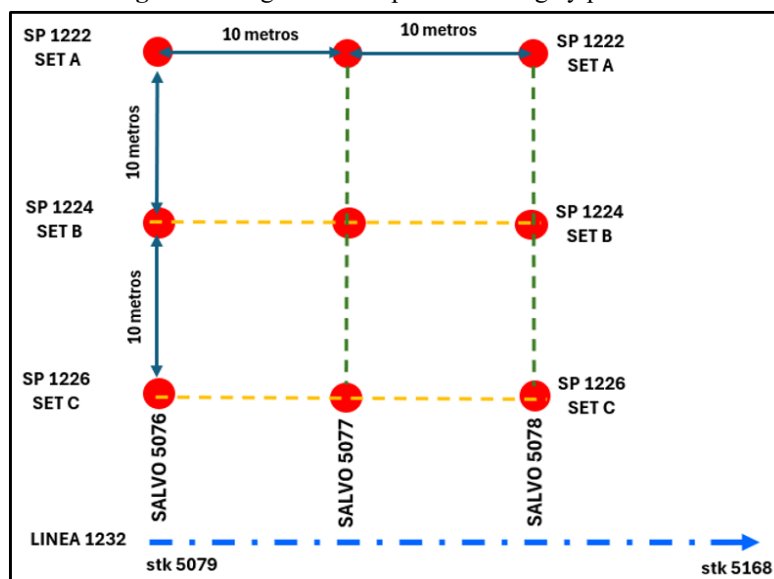
- Dato de campo con geometría aplicada.
- Recuperación de amplitudes (True Amplitude Recovery) (TAR).
- FXY deconvolución.
- Filtro pasa bandas.
- Correcciones estáticas.

- Estáticas residuales.
- NMO (Normal Moveout Correction).
- Análisis Espectral.

Los registros de campo fueron adquiridos utilizando un equipo Sersel 428XL y para el preprocesamiento se utilizó el hardware ProMax.

Para realizar la prueba de carga y profundidad se seleccionó un área representativa del proyecto, donde se perforarán 3 sets de pozos (A, B y C), con profundidades de 20m, 15m. y 10 m, respectivamente, los mismos que fueron cargados con 2 kg, 1.5 kg, 1 kg. y 0.5 kg de acuerdo con el diseño experimental establecido, en la Figura 1 se presenta el diagrama correspondiente a la disposición; en total, se establecieron nueve puntos de ensayo, los mismos que fueron ubicados con coordenadas y están separados 10 m entre ellos.

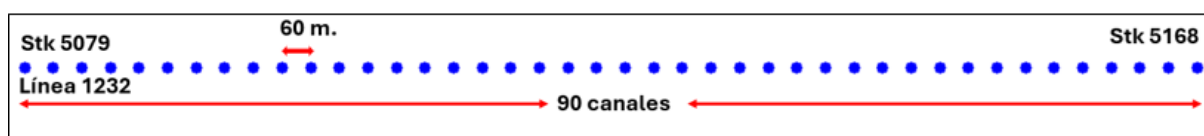
Figura 1. Diagrama de la prueba de carga y profundidad.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Se utilizó una geometría a lo largo de la línea 1232, conformada por 90 canales, desde la stk. 5079 a stk. 5168, la distancia entre receptoras es de 60 metros, tal como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Configuración de la línea de receptora de la prueba.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La nomenclatura de los lugares donde se realizó la prueba de carga y profundidad está ubicada

en tres líneas definidas (salvos), con sus puntos de tiro (PT) y la carga respectiva que será utilizada en la prueba, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de carga y profundidad.

Salvo 5078	SET. A	PT -1222	Profundidad	1 pozo x 20 m.
			Carga	2 kg.
	SET. B	PT -1224	Profundidad	1 pozo x 20 m.
			Carga	1 ½ Kg.
	SET. C	PT -1226	Profundidad	1 pozo x 20 m.
			Carga	1 kg.
Salvo 5077	SET. A	PT -1222	Profundidad	1 pozo x 15 m.
			Carga	2 kg.
	SET. B	PT -1224	Profundidad	1 pozo x 15 m.
			Carga	1 ½ Kg.
	SET. C	PT -1226	Profundidad	1 pozo x 15 m.
			Carga	1 kg.
Salvo 5076	SET. A	PT -1222	Profundidad	2 pozo x 10 m.
			Carga	1 ½ Kg.
	SET. B	PT -1224	Profundidad	2 pozo x 10 m.
			Carga	1 kg.
	SET. C	PT -1226	Profundidad	2 pozo x 10 m.
			Carga	500 gr.

Los registros de campo fueron adquiridos utilizando un equipo Sersel 428XL de fabricación francesa. Se obtuvieron nueve registros sísmicos (sísmica de reflexión), cada uno con los parámetros operativos detallados en la Tabla 1. La adquisición se realizó mediante un tendido de 90 canales (geófonos), espaciados a 60 m entre sí, lo que da como resultado una longitud total de línea de prueba de 3540 m. Además del preprocesamiento de los datos, resulta fundamental llevar a cabo un análisis detallado del contenido espectral de las trazas cercanas y lejanas del sismograma, con el objetivo de identificar el rango de frecuencias efectivamente registrados durante la prueba. Este análisis permite definir con mayor precisión los parámetros óptimos de carga explosiva y profundidad de disparo a emplear. Este análisis permitirá poder definir con mayor precisión los parámetros de carga y profundidad a emplear. El gradiente de disminución de amplitud de la frecuencia dominante es menor en la dirección de alta frecuencia, y se observa que los datos sísmicos por encima de 42 Hz conservan cierta energía, con una relación señal-ruido (SNR) superior a uno, lo que indica una respuesta sísmica confiable en ese rango de frecuencias (Guanghui et al., 2002).

Por otro lado el no realizar esta prueba puede ocasionar muy graves inconvenientes en la data

obtenida, por ejemplo, una carga excesiva puede saturar los primeros arribos, esto provocara graves inconvenientes al momento del procesamiento e interpretación sísmica, y si se utiliza inadecuadamente una carga muy pequeña ocasionara que la señal no llegue a las trazas más lejanas, impidiendo la iluminación del objetivo más profundo, estos son algunos problemas que puede causar si no se define con exactitud el tamaño de carga y profundidad, además la adquisición sísmica es muy costosa y por lo general se lo ejecuta una sola vez en la vida del proyecto, por tal motivo se debe hacer énfasis en el diseño y los parámetros de adquisición. Es importante mencionar que esta metodología no se utiliza frecuentemente en el país es una aplicación con base en más de 20 años de experiencia ejecutando proyectos de esas características en varios países del mundo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron del preprocesamiento de nueve registros sísmicos analizados permitieron evaluar objetivamente el comportamiento de cada patrón de carga y de profundidad, y para ello se han usado criterios de amplitudes, razón señal/ruido, coherencia lateral y contenido espectral. La discusión se apoya en la respuesta del terreno y en la eficacia de la propagación de la energía sísmica hacia los horizontes de interés.

3.1. Dato de campo con geometría aplicada

El análisis inició con los registros de campo originales (Figura 3), a los que se les asignó su geometría de la adquisición a partir de archivos SPS. En esta etapa se pudieron apreciar claramente los primeros arribos y la energía del ground roll, confirmando la utilización de una detonación apropiada y la respuesta inicial del medio. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en términos de amplitud y distribución de la energía entre los diversos patrones de disparo, sobre todo en offsets cercanos, lo que ya anticipa un comportamiento distinto en etapas posteriores del procesamiento.

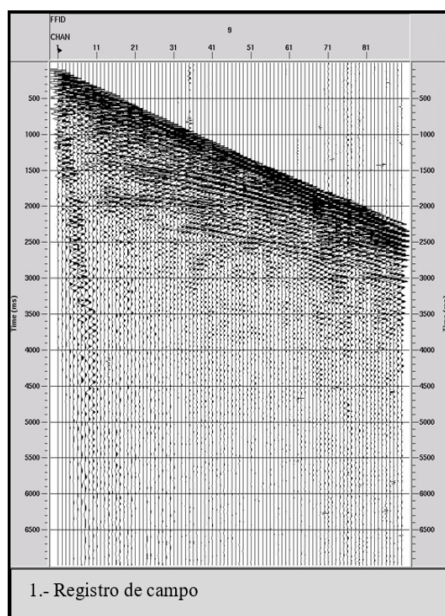
3.2. True Amplitude Recovery (TAR)

La aplicación del algoritmo True Amplitude Recovery (Figura 4) permitió compensar el descenso de energía asociado a la divergencia geométrica y la atenuación del medio, ocasionando una comparación objetiva entre los registros comparados. Los resultados muestran que algunos patrones presentan una recuperación de amplitud más equilibrada a los offset

lejanos, favoreciendo la preservación de energía en trazas medias y lejanas. En contraste, cargas excesivas generan una sobre amplificación en offsets cercanos, lo que sugiere saturación y pérdida de balance dinámico.

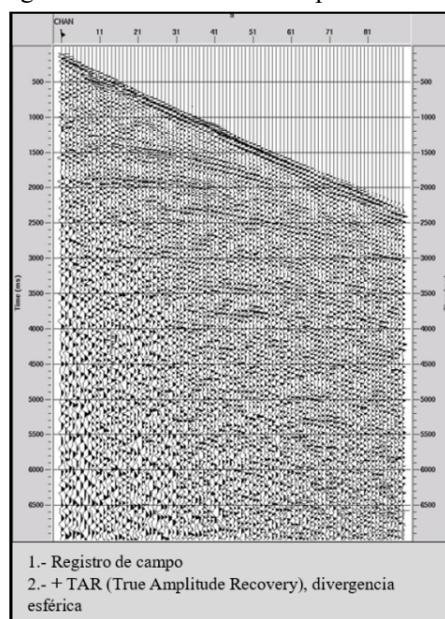
La principal motivación para explorar la recuperación de la amplitud real es evaluar la posibilidad de reconstrucción del campo de ondas a partir de datos de reflexión y transmisión, con el fin de aplicarlo posteriormente en la migración de la amplitud verdadera o la inversión completa del campo de ondas (Wu & McMchan, 2018).

Figura 3. Registro sísmico de campo con geometría de disparo.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 4. Registro sísmico con True Amplitude Recovery (TAR).



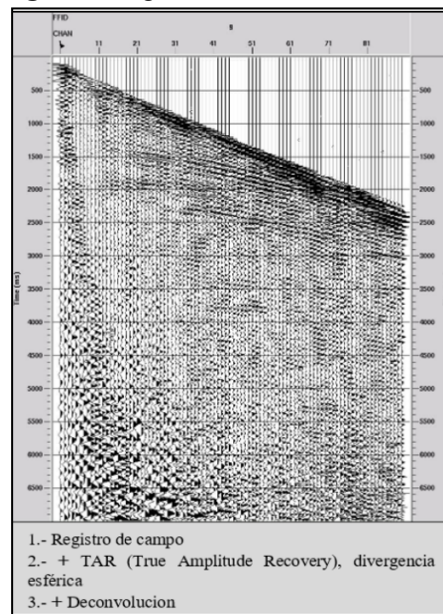
Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.3. FXY Deconvolución

La deconvolución FXY mejoró considerablemente la resolución temporal y la continuidad lateral de los eventos geológicos. Los registros asociados a patrones óptimos evidencian una ondícula más estable y una mejor definición de los reflectores tras la compresión de la señal. Por el contrario, en configuraciones no óptimas persiste una menor coherencia, indicando una respuesta menos eficiente del sistema fuente-medio. (Véase Figura 5)

Para eliminar el ruido, como los artefactos de adquisición, de los cortes de frecuencia constantes de datos descompuestos espectralmente, se introduce la Deconvolución FXY dentro de un algoritmo de descomposición espectral (Bonar & Sacchi, 2011).

Figura 5. Registro sísmico hasta deconvolución.

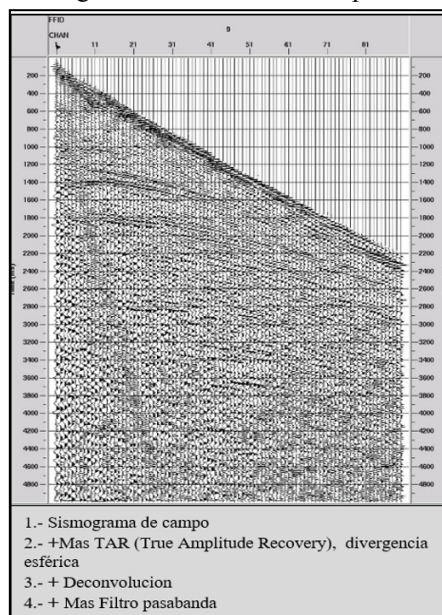


Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.4. Filtro Pasa banda

El filtrado pasa banda permitió restringir el contenido espectral a un rango de frecuencias con alta relación señal/ruido, atenuando el ground roll y el ruido de alta frecuencia. En los patrones mejor evaluados, este proceso ocasionó una mayor claridad de los horizontes geológicos, mientras que en patrones deficientes se observó una pérdida significativa de energía útil, producto de una generación inadecuada de la señal en el punto de disparo (Véase Figura 6). El filtro pasa banda, en términos sencillos, es la combinación de un filtro pasa-alto y un filtro pasa-bajo. Su función principal es permitir el paso de ciertas frecuencias localizadas dentro de un ancho de banda determinado y atenuar aquellas que se encuentran fuera de dicho rango (Cedeño, 2020).

Figura 6. Registro sísmico hasta filtro pasa banda.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5. Correcciones Estáticas

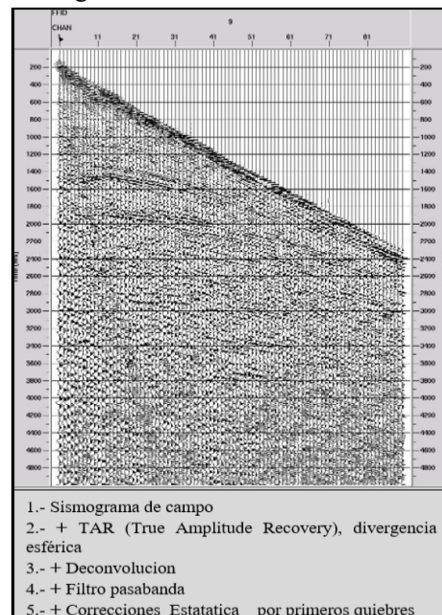
Las correcciones estáticas de refracción compensaron los efectos de la capa meteorizada, mejorando la alineación temporal de los eventos geológicos. Los tiempos de reflexión son afectados por irregularidades cercanas a la superficie o a la capa meteorizada. Esto se evidencia en los registros sísmicos cuando las reflexiones se desvían de su comportamiento hiperbólico. Algunas de estas distorsiones pueden ser causadas por complejidades estructurales en profundidad, pero muy comúnmente son el resultado de las irregularidades cercanas a la superficie, como son la base de la capa meteorizada, el cambio de la velocidad de propagación de esta capa y las variaciones abruptas en las elevaciones del terreno.

La energía refractada asociada con la base de la capa de interperismo frecuentemente constituye los primeros quiebres (First Breaks, FB) en el registro de tiro común, los primeros quiebres (FB) ocurren con distintos grados de variabilidad dependiendo del tipo de fuente y las condiciones de la superficie (Zarate Velasco, 2011).

El cálculo de estáticas de refracción consiste en ajustar el tiempo de viaje de la ondícula para determinar el espesor y la velocidad de la capa meteorizada (baja velocidad) (véase Figura 7), la cual se caracteriza por ser altamente heterogénea, poseer bajas velocidades y presentar un relieve irregular. Estas características tienen influencia en las trayectorias de los rayos, de manera que es necesario corregirlas a fin de obtener un buen emplazamiento en profundidad de

los reflectores de interés. Un objetivo principal de la corrección estática de refracción es eliminar el efecto de la capa de meteorización o capa de baja velocidad. Para ello, se estiman el espesor y la velocidad de la capa de meteorización, así como la velocidad de la capa submeteorizada, que se utilizan posteriormente para calcular la corrección estática de refracción (Shunhail, 2002).

Figura 7. Registro sísmico hasta correcciones estáticas.



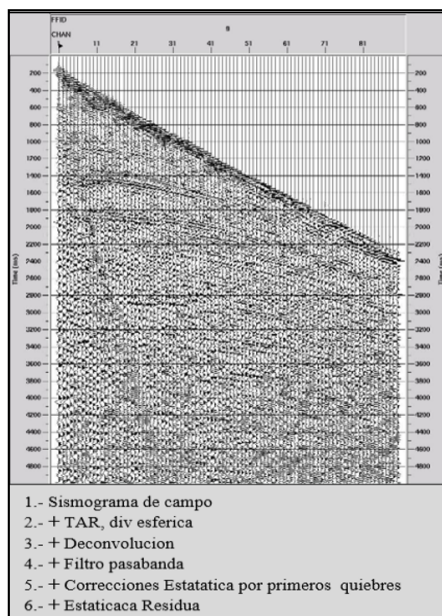
Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.6. Estáticas Residuales

Las estáticas residuales permiten hacer un ajuste fino, reduciendo saltos de altas frecuencias y mejorando la coherencia lateral antes del apilado sísmico. Los mejores resultados se obtuvieron en registros con una buena relación carga-profundidad, mientras que patrones extremos dificultaron la identificación de primeros arribos y la estimación confiable de las correcciones. El ajuste fino de las correcciones estáticas es aplicado cuando las correcciones iniciales no han sido óptimas debido a las carencias en los datos de las estáticas de campo. Es un proceso que se hace por comparación de trazas cercanas, donde el algoritmo busca eventuales saltos de tiempo constantes a lo largo de toda una traza respecto a sus vecinas y, de haberlo, los corrige (Véase Figura 8). La finalidad de este proceso es corregir los problemas de saltos estáticos de alta frecuencia, presentes en los tiempos de viaje, los cuales se evidencian en el procesamiento de datos sísmicos para la onda compresional (P). Este tipo de problemas se da cuando no se puede modelar con claridad la capa meteorizada, tanto por las variaciones laterales de velocidad como por las irregularidades en el terreno, generando saltos estáticos residuales, que se manifiestan

luego de las correcciones de estáticas de baja frecuencia y las correcciones dinámicas de normal move-out (NMO). Dichos saltos generan la destrucción de la coherencia lateral que existe en los reflectores antes del apilado, así como también deforman la ondícula resultante en el apilado (Contreras et al., 2008).

Figura 8. Registro sísmico hasta estática residual.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

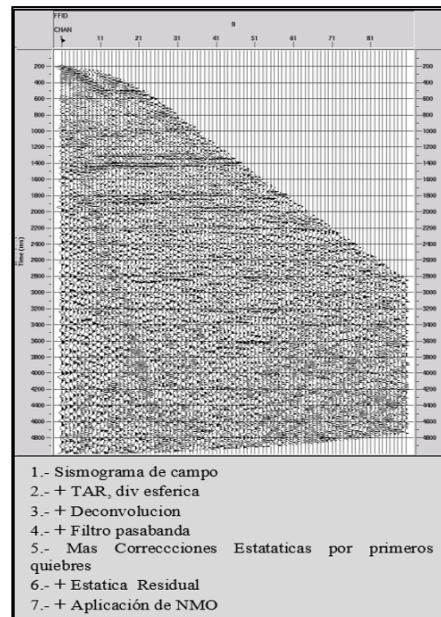
3.7. Normal Moveout Correction (NMO)

La corrección NMO evidenció claras diferencias en la capacidad de cada patrón para iluminar los reflectores más profundos de interés geológico. los patrones óptimos mostraron eventos bien alineados y menor estiramiento en offsets lejanos, indicando una propagación energética eficiente. En contraste, configuraciones no adecuadas presentaron distorsiones residuales tras la corrección, afectando la calidad del apilado. Esta etapa es clave para evaluar la efectividad de cada patrón en términos de iluminación de los reflectores profundos.

Los resultados indican que los patrones con una adecuada relación carga-profundidad permiten una corrección NMO más estable, con eventos que conservan su forma hiperbólica y muestran menor estiramiento en offsets lejanos. Esto sugiere una mejor distribución de la energía y una respuesta más favorable del medio (Véase Figura 9).

Este fenómeno se conoce como movimiento de salida o movimiento normal (NMO) por sus siglas en ingles. La diferencia temporal real de movimiento de salida para una reflexión determinada, a una distancia específica, se conoce como delta-T (Lang, 1991).

Figura 9. Registro sísmico hasta NMO.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.8. Análisis Espectral

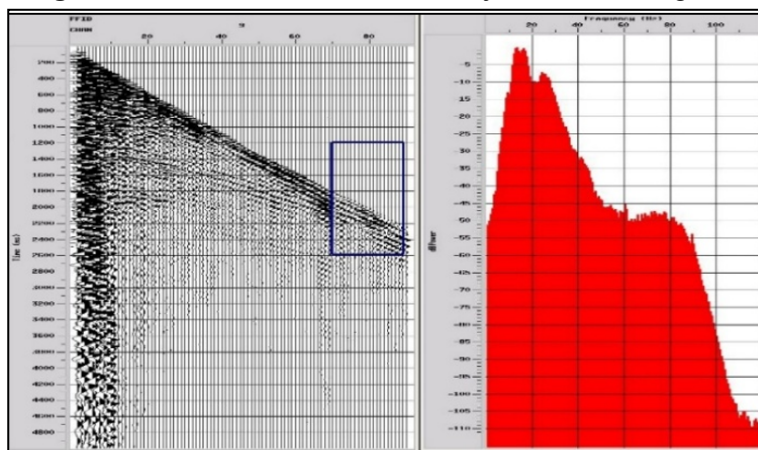
El análisis espectral de las trazas lejanas constituye un elemento fundamental en la evaluación de pruebas de carga y profundidad, ya que permite caracterizar el contenido de frecuencias efectivamente propagadas hacia los offsets lejanos y, por ende, hacia los objetivos más profundos. En la Figura 10 se presenta el espectro de frecuencias (Hz) de las trazas lejanas de un sismograma, calculado dentro de una ventana arbitraria entre 1200 ms y 2600 ms. El análisis evidencia la presencia de frecuencias dominantes en un rango de 15 a 30 Hz, lo que indica una transmisión energética adecuada para la resolución de reflectores a profundidad.

La resolución sísmica está directamente controlada por el contenido espectral de la señal reflejada. En términos teóricos, la resolución vertical corresponde aproximadamente a un cuarto de la longitud de onda, mientras que la resolución lateral es del orden de la mitad de la longitud de onda. En consecuencia, ambas dependen de la velocidad promedio del medio y de las frecuencias máximas recuperables para cada reflector (Herrera & Cooper, 2010).

Un mayor ancho de banda y la preservación de frecuencias altas representan una mejora representativa de la resolución y de la continuidad de los eventos en el apilamiento final, así como una mayor definición de los eventos geológicos. Bajo condiciones de ruido aproximadamente constantes, un aumento en la amplitud de reflexión y en la relación señal/ruido favorece un apilado más coherente y estable. Adicionalmente, un ancho de banda amplio facilita interpretaciones

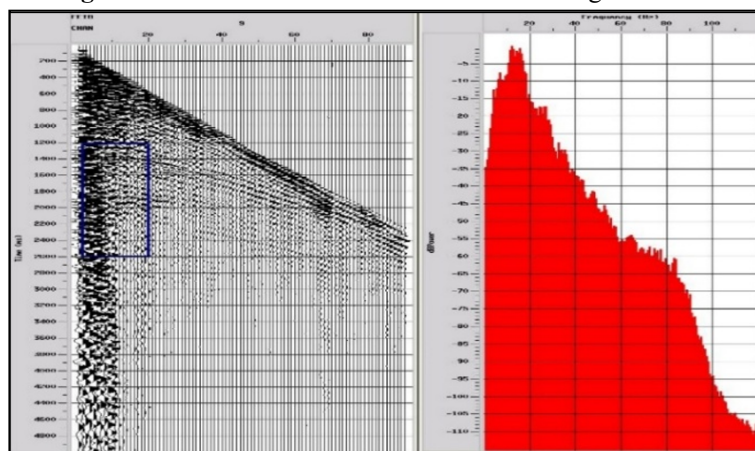
geológicas más precisas, que dependen del análisis detallado de la amplitud y la fase de los eventos de reflexión. En estas condiciones, resulta importante que los parámetros de adquisición y registro no comprometan los objetivos del estudio mediante un muestreo inadecuado o una restricción excesiva del rango de frecuencias, garantizando así la correcta adquisición sísmica y procesamiento de la señal sísmica en etapas posteriores (Brian, 1997).

Figura 10. Análisis de frecuencia trazas lejanas en un sismograma.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 11. Análisis de frecuencias trazas cercana ground roll.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la Figura 11 se presenta el análisis espectral correspondiente al dominio del ground roll (onda superficial), evaluado a partir de trazas cercanas, las cuales son particularmente sensibles a los efectos producidos por la detonación del explosivo y la propagación de la onda aérea. El espectro de frecuencias (Hz), calculado para los offsets cercanos dentro de una ventana arbitraria entre 1200 ms y 2600 ms, muestra un contenido espectral dominante en el rango de 12 a 28 Hz.

La concentración de energía en este intervalo de frecuencias es característica de las ondas

superficiales y del ruido siempre asociado a la fuente, lo que explica su impacto negativo sobre la relación señal/ruido en las trazas cercanas. Este comportamiento espectral justifica la necesidad de aplicar técnicas específicas de atenuación, tales como el uso de un filtro pasabandas y métodos de supresión de ground roll, con el fin de preservar la energía reflejada de interés sin comprometer el contenido espectral útil asociado a los eventos sísmicos profundos. Una vez finalizado el preprocesamiento de los nueve registros sísmicos de los distintos patrones utilizados en la prueba de carga y profundidad, se realizó una evaluación comparativa basada en la respuesta de amplitudes, la relación señal/ruido y el contenido espectral de cada registro. Este análisis permitió identificar diferencias significativas en la eficiencia de generación y propagación de la energía sísmica entre las configuraciones o patrones evaluados.

Como resultado de esta comparación, se determinó que el patrón óptimo para el área de estudio corresponde a una profundidad de disparo de 15 m con una carga explosiva de 1,5 kg, configuración que presentó el mejor balance entre amplitud estable, ancho de banda efectivo y adecuada relación señal/ruido en offsets medios y lejanos. Adicionalmente, en sectores donde las condiciones geológicas y operativas impiden alcanzar dicha profundidad debido a la presencia de grava o material rocoso, se definió como alternativa operativa el uso de dos pozos de 10 m de profundidad, cargados con 0,5 kg cada uno, los cuales mostraron un desempeño aceptable para la iluminación de los objetivos sísmicos.

4. CONCLUSIONES

La prueba de carga y profundidad demostró ser una etapa crítica previa a la adquisición sísmica, ya que permitió identificar configuraciones de disparo que optimizan la relación señal/ruido, el contenido de frecuencias y la preservación de amplitudes, impactando directamente en la calidad final de la imagen sísmica.

El análisis comparativo de los nueve registros sísmicos evidenció diferencias importantes entre los patrones evaluados, concluyendo que una selección inapropiada de carga y profundidad puede ocasionar saturación en los primeros arribos o pérdida de energía en offsets lejanos, lo cual afecta negativamente el preprocesamiento y la interpretación sísmica.

La aplicación de un flujo de preprocesamiento sísmico básico que incluyó recuperación de amplitudes verdaderas, deconvolución FXY, filtrado pasa banda, correcciones estáticas,

estáticas residuales y NMO resultó efectiva para evaluar objetivamente el desempeño de cada patrón de disparo y facilitar la comparación técnica entre patrones.

El análisis espectral de las trazas cercanas y lejanas permitió identificar que los registros sísmicos conservan energía útil por encima de 42 Hz con una relación señal/ruido mayor a uno, lo que indica una respuesta sísmica confiable y una adecuada iluminación de los horizontes geológicos de interés profundo.

En base en la evaluación de amplitudes, relación señal/ruido y contenido de frecuencias, se concluyó que el patrón óptimo para el área de estudio corresponde a un disparo de 15 m. de profundidad, con una carga de 1,5 kg de explosivo mientras que en zonas con problemas operativos se recomienda el uso de dos pozos de 10 m de profundidad cargados con 0,5 kg de explosivo cada uno.

Finalmente, la investigación confirma que la implementación de pruebas de carga y profundidad permite reducir riesgos técnicos y económicos en proyectos de adquisición sísmica terrestre, garantizando datos que cumplen estándares internacionales y que constituyen una base confiable para futuros estudios geológicos y geofísicos en el desarrollo del campo petrolero en el mundo.

Contribución de los Autores (CRediT): VPN: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Recursos, Software, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción - borrador original, Redacción – revisión y edición.

Conflicto de Intereses: El autor declara que no existen conflictos de intereses en esta publicación.

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial: El autor declara que no ha utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA) en el desarrollo del artículo.

REFERENCIAS

- Alzamil, N., Li, W., Zhou, H., & Merry, H. (2022). Frequency-dependent signal-to-noise ratio effect of distributed acoustic sensing vertical seismic profile acquisition. *Geophysical Prospecting (EAGE)*, 70(2), 377–387. <https://doi.org/10.1111/1365-2478.13165>
- Amadike, M., Nwanesi, F., Ogbanna, C., Ohale, U., Austin, O., Jacob, O., Nwaozuzu, C., & Okeke, O. (2024). Principles and applications of seismic reflection geophysical technique in petroleum exploration and production: A review. *Scholarly Journal of Science and Technology Research & Development (IJAAR PUBLISHING)*, 3(9), 11–41. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14265732>
- Babu, M., Baskey, B., Thota, V., & Singh, S. (2022). Evaluation of 3D seismic survey design

- parameters through ray-trace modeling and seismic illumination studies: A case study. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 12, 3021–3031. <https://doi.org/10.1007/s13202-022-01461-w>
- Barbosa, P. (2005). *Análisis de calidad de imagen de las líneas sísmicas del programa Achira–San Jacinto 2D, Valle Superior del Magdalena, Colombia* [Informe técnico universitario, Universidad Simón Bolívar].
- Bonar, D., & Sacchi, M. (2011). Spectral decomposition with F-XY preconditioning. *Society of Exploration Geophysics (SEG)*, 76(2), P13–P20. <https://doi.org/10.1190/1.3627386>
- Brian, E. (1997). *A handbook for seismic data acquisition in exploration*. Society of Exploration Geophysicists. (SEG). <https://doi.org/10.1190/1.9781560801863>
- Cedeño, E. (2020, abril 29). *Filtro pasa banda*. Vistronica. <https://www.vistronica.com/blog/post/filtro-pasa-banda>
- Contreras, O., Malavé, B., & Contreras, P. (2008, del 7 al 12 de septiembre). Cálculo de estáticas residuales en datos sísmicos utilizando recocido simulado. *I Simposio Venezolano de Ciencias de la Tierra Aplicadas a la Exploración de Hidrocarburos*, PDVSA INTEVEP. La Tahona, Caracas, Venezuela. <https://www.researchgate.net/publication/358609688>
- Guanghai, S., Wensi, T., Ronghua, C., & Jihong, B. (2002). *Frequency spectrum analysis*. ScienceDirect. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/frequency-spectrum-analysis>
- Herrera, Y., & Cooper, N. (2010). *Manual para la adquisición y procesamiento de sísmica terrestre y su aplicación en Colombia*. Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Recuperado el 20 de junio de 2025. https://www.anh.gov.co/documents/34/Manual_Tecnicas_Sismica_Terrestre.pdf
- Lang, D. P. (1991). *Seismic data acquisition: A simplified overview of theory and technology*. [Archivo PDF].
- Liu, N., Yao, G., Zou, Z., Wang, S., Wu, D., Li, X., & Zhou, J. (2022). Two improved acquisition systems for deep subsurface exploration. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.850766>
- Nwaezeapu, V., Ezenwaka, K., & Ede, T. (2019). Evaluation of hydrocarbon reserves using

- integrated petrophysical analysis and seismic interpretation: A case study of TIM field, southwestern offshore Niger Delta, Nigeria. *Egyptian Journal of Petroleum*, 28(3), 273-280. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2019.06.002>
- Shunhail, A. (2002). Refraction static correction in a layer of unconsolidated sand: Effect of a vertical velocity profile. *Journal of Seismic Exploration*, 11(4), 383-396. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/290731718>
- Stone, D. (1994). *Designing seismic surveys in two and three dimensions*. Society of Exploration Geophysicists. SEG. <https://doi.org/10.1190/1.9781560802730>
- Taner, M. T., & Sheriff, R. E. (1977). Application of amplitude, frequency, and other attributes to stratigraphic and hydrocarbon determination. In Payton, C. E. (Eds). *Seismic Stratigraphy — Applications to Hydrocarbon Exploration*. American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/M26490C17>
- Wu, Y., & McMchan, G. (2018). True-amplitude recovery in reverse-time extrapolation of plane and spherical waves. *Geophysics*, 83(3), S213–S223. <https://doi.org/10.1190/geo2017-0425.1>
- Zarate Velasco, A. (2011). *Análisis de la Corrección Estática en el Procesamiento Sísmico de Reflexión* [Tesis de pregrado Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Ticomán] Repositorio institucional. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15772/Análisis%20de%20la%20corrección%20estática%20en%20el%20procesamiento%20sísmico%20de%20reflexión.pdf?sequence=1>