



Levantamiento sísmico Siruni 2D. Datos sísmicos de alta resolución para objetivos someros. Cuenca de los Llanos Orientales Colombia.

Massimo Di Giulio⁽¹⁾, Julio Cesar Garzón⁽³⁾, Hermes Garzón⁽²⁾ y Ivan Becerra⁽²⁾.

CEPSA E&P Madrid-España ⁽¹⁾; CEPSA Colombia ⁽²⁾; InterOil Colombia ⁽³⁾

Copyright 2016, ACGGP.

This paper was selected for presentation by an ACGGP Technical Committee following review of information contained in an abstract submitted by the author(s).

Resumen

En Enero 2013 CEPSA Colombia y ExxonMobil iniciaron las operaciones de adquisición de 580 Km de sísmica 2D en el bloque exploratorio CPE-3 ubicado en la región de los llanos orientales de Colombia muy cerca de la frontera con Venezuela.

El objetivo de la sísmica 2D fue obtener una buena imagen sísmica y de alta resolución para detectar las posibles trampas estratigráficas. Este objetivo exploratorio es somero por el poco espesor sedimentario existente en la mayor parte del bloque hasta el basamento.

La historia exploratoria del bloque CPE-3 es muy pobre. Por tal motivo un detallado levantamiento Aéreo-Gravimétrico y Magnético de alta resolución fue realizado sobre una superficie de 16.000 Km² con el objetivo de modelar la geometría del basamento y su relación con las posibles trampas estratigráficas. La sísmica existente solo cubría el borde occidental del bloque por tal motivo se realizó el diseño de una sísmica 2D localizada en zonas de interés determinadas a partir de la interpretación de los datos Gravimétricos y Magnéticos.

La logística y las operaciones de adquisición de la sísmica representaron un reto debido a las dimensiones y localización del bloque CPE-3. Las características topográficas del área exploratoria permitieron el empleo de “Mini-Vibrators” como fuente principal y explosivos como fuente secundaria. Este levantamiento sísmico permitió el retorno de los “Vibrator” como fuente sísmica para la adquisición de datos sísmicos en Colombia.

Los resultados muestran que es posible recuperar altas frecuencias en la cuenca de los llanos orientales de Colombia. La calidad de los datos sísmicos adquiridos fue muy buena. De esta forma se logró resolver la geometría del basamento, la estratigrafía de las formaciones geológicas de interés y una detallada definición de posibles trampas estratigráficas tipo “*pinch outs*” asociadas al acuñamiento de la formación Carbonera contra los paleo altos del basamento.

Summary

In January 2013 CEPSA Colombia and ExxonMobil started the acquisition of a 2D seismic survey with a total of 580 Km in the exploratory block CPE-3 in Eastern Colombia very close to the border with Venezuela.

The objective of the 2D survey was to obtain a good seismic image with high resolution for stratigraphic traps. This exploration objective is shallow due to the reduced sedimentary thickness to the basement.

Historically the block has been poorly explored. For this reason a new high resolution airborne Gravimetry and Magnetometry survey was acquired to cover 16,000 Km² in order to model the basement geometry and its relationship with main reservoir to outline stratigraphic traps. The existing 2D seismic data only covered the westernmost part of the block.

The results show that it is possible to recover high frequency data in the Llanos basin in Colombia. The recorded seismic data is of very good quality, displaying the basement as a continuous seismic reflector with good geometrical definition. Good details are obtained of stratigraphic features, delineating pinch outs of the Carbonera reservoir against the basement paleo highs.

Logistics and acquisition of the 2D survey was a challenge due to the dimensions and remote location of the exploratory block CPE-3. The surface characteristics of the area allowed the use of Mini Vibrators as main seismic energy source and explosives as secondary source, trying to obtain the best data quality in terms of vertical and lateral resolution. This seismic survey represented the return of vibrators as energy source for the acquisition of seismic data in Colombia.

The results show that it is possible to recover high frequency data in the Llanos basin in Colombia. The recorded seismic data is very good in quality, displaying the basement as a continuous seismic reflector with good geometrical definition. Good details are obtained of stratigraphic features, delineating pinch outs of the Carbonera reservoir against the basement paleo highs.

Introducción

En Mayo 2011 CEPSA Colombia y ExxonMobil firman un acuerdo donde se le otorga a CEPSA Colombia la operación del bloque exploratorio CPE-3. Las obligaciones del contrato incluían la perforación de pozos estratigráficos y la adquisición de 580 Km de sísmica 2D. En Julio 2012 se modifica el plan de trabajo y se incluye además la adquisición de un levantamiento Aéreo-Gravimétrico y Magnético de alta resolución.

Las actividades de perforación y adquisición de datos geofísicos fueron planeadas en función de las condiciones climáticas más idóneas para el desarrollo de las operaciones. Durante la época seca de Diciembre 2012 a Abril 2013 se adquirió el programa sísmico 2D y el levantamiento aéreo Gravimétrico y Magnético de alta resolución.

Debido a las dimensiones y localización del bloque exploratorio cercano a la frontera con Venezuela el proyecto constituyó un reto desde el punto de vista técnico y operacional.



Figura 1. Localización del área de operaciones del proyecto sísmico SIRUNI 2D.

Las condiciones del terreno y las características de los objetivos geológicos a estudiar se consideraron favorables para proponer el empleo de vibrosísmica para la adquisición de la campaña sísmica 2D y obtener datos sísmicos de alta resolución para objetivos someros. El uso de vibradores en el proyecto sísmico SIRUNI 2D constituyó una novedad en el marco de la actividad sísmica en Colombia. El presente trabajo describirá los aspectos técnicos y operacionales del proyecto SIRUNI 2D.

Localización

El bloque tiene un área de 26.217 Km² (16,52 veces la superficie de la ciudad de Bogotá). Se encuentra ubicado en la región de la Orinoquia Colombiana, limita al este con Venezuela y ocupa la franja noroccidental del departamento del Vichada. Abarca los municipios La Primavera y Puerto Carreño. En el Municipio La Primavera el proyecto tiene influencia sobre tres comunidades y en el Municipio Puerto Carreño en nueve comunidades. El área de influencia del proyecto tiene varias vías de acceso tanto aéreas, fluviales y terrestres. Figura 1.

El relieve se caracteriza por grandes llanuras, pequeños bosques de galería y zona de morichales. El 97% de la cobertura vegetal que define el área del bloque son pastos naturales y el restante 3% son bosques de galería y morichales.

Figura 2. La red hidrográfica del proyecto se encuentra conformada por los ríos Meta al norte, Tomo al sur y Elbita y Bitá en la parte oriental. La mayor elevación registrada en el área del proyecto fue de 129,50 metros y la menor de 56,70 metros.

La temporada de lluvias se presenta de Abril a Octubre y la temporada seca de Diciembre a Abril. El régimen pluviométrico se caracteriza por lluvias anuales entre los 1.500 mm a 2.000 mm. La temperatura máxima anual es de 33,3°C y una mínima de 23,7° C para una media de 28,2°C.

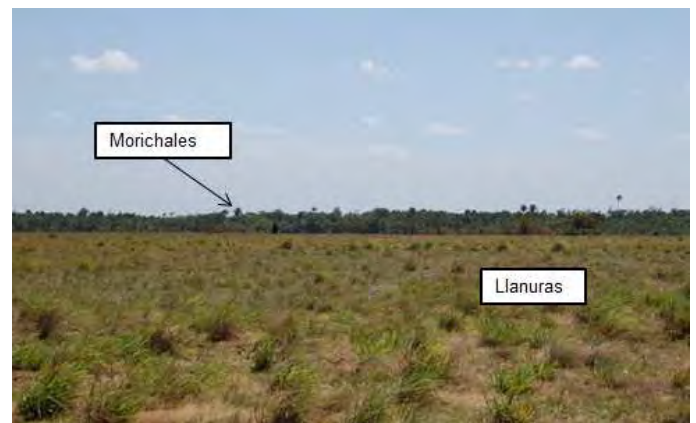


Figura 2. El área del proyecto se caracteriza por extensas llanuras y en ocasiones morichales que están protegidos por la normativa ambiental.

Historia Exploratoria y Geología General

La historia exploratoria del CPE-3 es muy pobre y se concentró en la parte occidental del bloque. El único descubrimiento cercano es El Miedo que se encuentra aproximadamente a unos 13 Km. Durante los años 80 Occidental de Colombia realizó la adquisición de datos sísmicos y la perforación de pozos estratigráficos que muestran la presencia de estructuras con relieve muy bajo, buzamientos suaves y adelgazamiento del relleno sedimentarios hacia el este. Las formaciones geológicas identificadas en la zona son la Formación Guayabo, León y Carbonera. Los datos sísmicos y los pozos estratigráficos existentes mostraban que el basamento se va haciendo más somero hacia el este. El objetivo exploratorio principal lo constituyen los acuñamientos de la formación Carbonera sobre los altos locales del basamento.

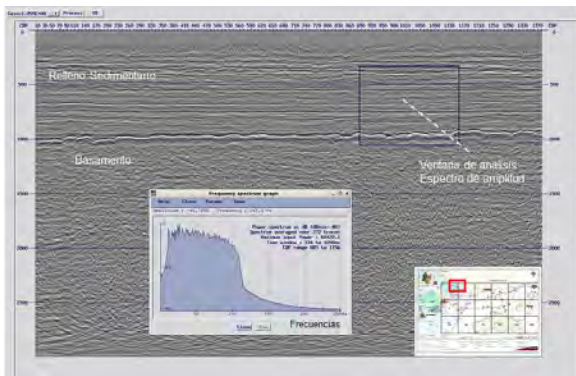


Figura 3. Datos adquiridos en el borde occidental del bloque CPE-3. Nótese la buena continuidad de los eventos asociados al relleno sedimentario y al tope del basamento. El espectro de amplitud muestra un buen contenido de frecuencias.

Preparación del Diseño Sísmico 2D

El análisis de los datos sísmicos adquiridos por Occidental de Colombia en los años 80 permitió establecer que el subsuelo del área de estudio se caracteriza por ser poco complejo estructuralmente y con objetivos geológicos someros. Además los datos adquiridos en anteriores campañas sísmicas demuestran que es posible obtener registros de buena calidad. Los análisis de frecuencias realizado en los registros crudos y en las secciones 2D apiladas y migradas mostraban una frecuencia dominante de 35 a 45 Hz lo cual favorece la resolución vertical de los objetivos de interés. Figura 3.

Se generaron una serie de modelados sísmicos mediante trazado de rayos para evaluar los parámetros más idóneos a emplear en el proyecto. Los modelados sísmicos de las trampas estratigráficas tipo “pinch out” mostraron que con un intervalo de trazas entre 6 a 25 metros y una frecuencia dominante de 50 Hz es posible definir dentro de los límites de resolución y detectabilidad el fenómeno de cuña entre el tope de las arenas basales de la Formación Carbonera y los paleoaltos del basamento. Figuras 4 y 5.

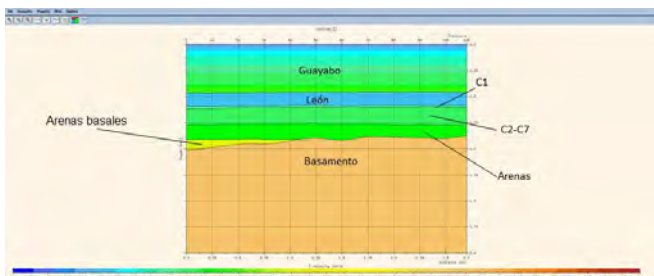


Figura 4. Modelo sísmico en profundidad 2D generado a partir de los datos sísmicos y de pozo en el borde occidental del bloque CPE-3. A partir de dicho modelo se realizaron los trazados de rayos para modelar la respuesta sísmica entre las arenas basales y los paleoaltos del basamento.

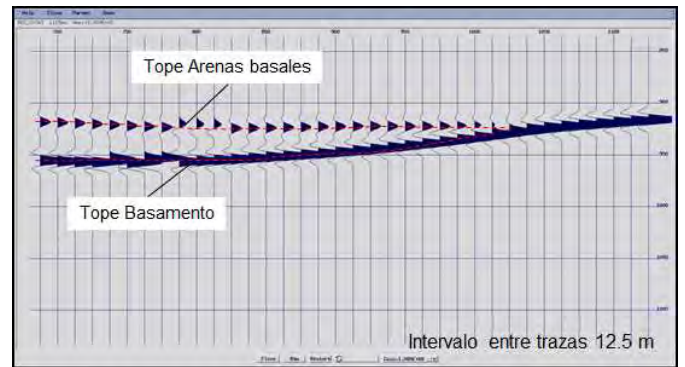


Figura 5. Sección sísmica generada a partir del modelado mediante trazado de rayos. Nótese que con un intervalo entre trazas de 12,5 metros y una frecuencia dominante de 50 Hz se define mejor como disminuye progresivamente el espesor de las arenas basales y se produce el “pinch out” contra el paleoalto del basamento.

El “offset” máximo efectivo a nivel de objetivo para el caso optimista con porcentajes de 25 a 30 % de “mute” se encuentra entre los 1.200 a 1.400 metros. Los horizontes más someros correspondientes a las Formaciones Guayabo y León serían los más afectados por el efecto de “NMO Stretching”.

Las evaluaciones de los modelados realizados a los parámetros y al dispositivo de adquisición muestran una buena distribución de “offset” y “fold” a lo largo de la línea 2D. Los resultados muestran una cobertura eficiente sobre los horizontes de interés en el subsuelo y una buena calidad de la imagen en las secciones sintéticas generadas. Se agregaron las distancias adicionales “colas” a las líneas sísmicas para permitir una distribución adecuada de la cobertura en los bordes y facilitar el trabajo de los algoritmos de migración con el objetivo de disminuir los efectos de borde en los datos durante el procesamiento sísmico. Figura 6.

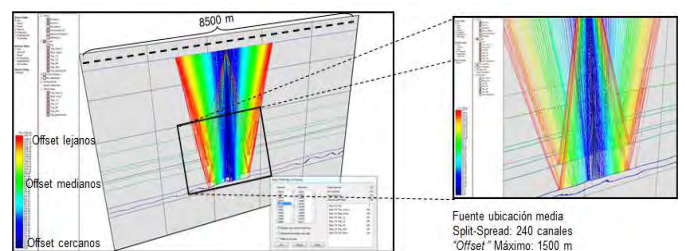


Figura 6. Evaluación de la geometría de adquisición y parámetros del proyecto SIRUNI 2D mediante el trazado de rayos.

La selección de la fuente sísmica a emplear y el intervalo entre puntos fuentes constituyeron dos de las piezas claves del proyecto sísmico debido a los efectos de costo y calidad que ambos representan. La topografía del terreno y la necesidad de obtener datos de alta resolución a un costo razonable permitieron considerar fuentes sísmicas alternativas a los

explosivos. Se evaluó la posibilidad de emplear “*accelerated weight drop*” (AWD) ó “*Mini-Vibrators*”. Luego de distintos análisis se decidió optar por “*Mini-Vibrators*” ya que son amigables con el medio ambiente y tienen la “*peak force*” necesaria para los objetivos someros además de poseer la capacidad de generar barridos de alta frecuencia. Para la selección del intervalo entre puntos fuentes se estableció realizar una serie de pruebas en campo para definir el valor más idóneo desde el punto de vista operacional y de costos.

El diseño propuesto para las líneas 2D se basó en las vías que atraviesan el bloque CPE-3 para facilitar el ingreso de los “*Mini Vibrators*” en el área de operaciones.

Levantamiento Aéreo Gravimétrico y Magnético

Durante la temporada seca del año 2013 CEPSA COLOMBIA adquirió 20.405 Km lineales (el equivalente a 2,54 veces la distancia entre Madrid y Bogotá) datos gravimétricos y magnéticos de alta resolución en el bloque CPE-3. La compañía canadiense SANDER GEOPHYSICS LIMITED (SGL) realizó la adquisición y procesamiento de los datos en conjunto con BAIN GEOPHYSICAL SERVICES (BainGeo) de Houston. Figura 7.

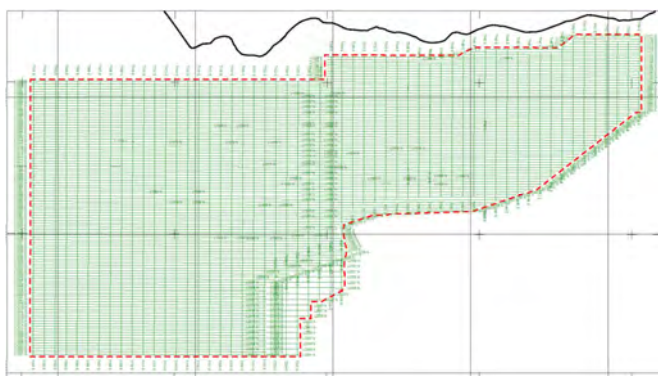


Figura 7. Levantamiento aéreo gravimétrico y magnético.

El objetivo del levantamiento es la definición de los elementos estructurales, la estimación del espesor de la columna de sedimentos y profundidad del basamento. Los resultados iniciales permitieron chequear las orientaciones propuestas para algunas de las líneas sísmicas del proyecto sísmico 2D.

Levantamiento Sísmico Siruni 2D

El programa sísmico SIRUNI 2D fue adquirido por la compañía colombiana PETRO SEISMIC entre los meses de Noviembre 2012 a Abril 2013 para CEPSA Colombia. El programa comprendió el registro sísmico de 19.483 puntos fuentes distribuidos en 14 líneas 2D para un total de 580,6 Km.

La movilización se inició en Noviembre 2012. Se instaló un campamento base en el Municipio Puerto Carreño con una capacidad para 180 personas y con todas las comodidades y servicios. Figura 8. Desde este campamento base se dirigieron el 60% de las actividades del proyecto. Además se instaló una Sub-Base en el Municipio Primavera con una capacidad para 220 personas.

Las grandes distancias a recorrer dificultaron el traslado de materiales y suministros desde los centros poblados hacia la base de operaciones y a diferentes puntos de apoyo de la operación lo que generó pérdidas de tiempo operacional. Por tal motivo fue necesaria la ubicación de campamentos volantes para disminuir los tiempos de viaje de personal y equipos.

Las operaciones de topografía se iniciaron el 24 de Diciembre 2012 con los trabajos correspondientes a la instalación de la RED GPS y finalizaron el 31 de Marzo con las actividades de corte y nivelación. La función de los grupos de topografía fue replantear en campo el diseño de puntos fuentes y receptores generados en oficina. En total se trabajaron 76 días y se emplearon grupos de levantamiento convencional, RTK y RTSF. El promedio de producción mediante el método convencional fue de 0,429 Km/grupo/día, el de RTK de 3,7 Km/grupo/día y el correspondiente al RTSF de 3,3 Km/grupo/día. Debido a la presencia de obstáculos naturales y culturales se reubicaron un total de 1542 puntos fuentes que constituyen el 7,9 % del total de puntos fuentes del proyecto.

Las operaciones de perforación se iniciaron el 26 de Enero 2012 y finalizaron el 03 de Abril 2013. Se empleó un grupo de trabajo cuya función fue perforar y cargar aquellos puntos fuentes ubicados en zonas donde fue imposible el ingreso de los “*Mini-Vibrators*” debido a la presencia de morichales, por las características del terreno o condiciones socio ambientales. En total fueron perforados y cargados 306 pozos.

Las operaciones de registro se iniciaron el 27 de Enero y concluyeron el 4 de Abril 2013. Todos los puntos fuentes del proyecto fueron registrados en 68 días de trabajo. El proceso de registro se realizó con el equipo de grabación SERCEL 428XL[®]. Se emplearon grupos para el regado y recogida del material en campo. Fueron empleados más de 2.500 FDU[®], 8 LAUX[®], 80 LAUL[®] y un aproximado de 2.800 ristras con geófonos SM24[®] de pantano.

Como fuente de energía principal se emplearon tres (3) “*Mini-Vibrators*” INOVA UNIVIB PLS 326[®] dos en operaciones y uno en espera. En caso de falla de alguno de los “*Mini-Vibrator*” en operaciones se sustituye por el tercero para evitar que se detengan las operaciones de registro. La cuadrilla de “*Mini-Vibrators*” contó con el apoyo de un mecánico especializado y un guía. Como fuente secundaria se empleó explosivo sísmico. Figura 9. De un total de 19.483 puntos fuentes fueron adquiridos mediante “*Mini Vibrators*” 19.177

(98,43%) y mediante explosivo 306 (1,57%). El promedio de producción de registro fue de 287 puntos por día.

Se incluyó también un grupo de trabajo destinado específicamente a la adquisición de datos sísmicos de refracción. Del 14 de Febrero al 30 de Marzo 2013 se adquirieron un total de 108 refracciones distribuidas en las diferentes líneas del proyecto con el objetivo de aportar información acerca de las características del “Near Surface” y valores de correcciones estáticas.

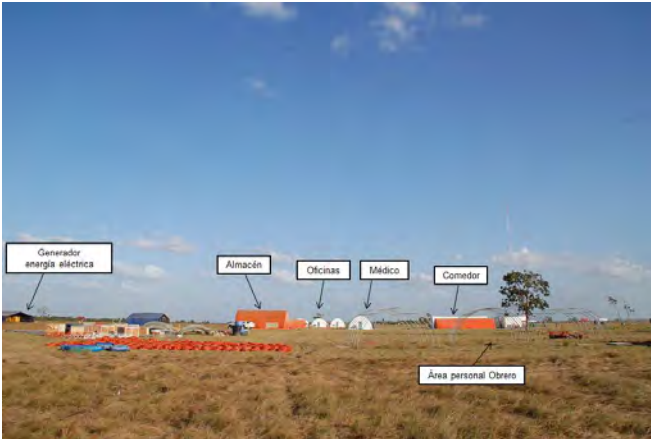


Figura 8. Campamento base localizado en el Municipio Puerto Carreño.



Figura 9. “Mini Vibrators” IONOVA UNIVIB PLS 326®. Dimensiones: 3 metros de alto, 1,92 de ancho y 6,32 metros de largo. “Peak Force” de 26.000 libras.

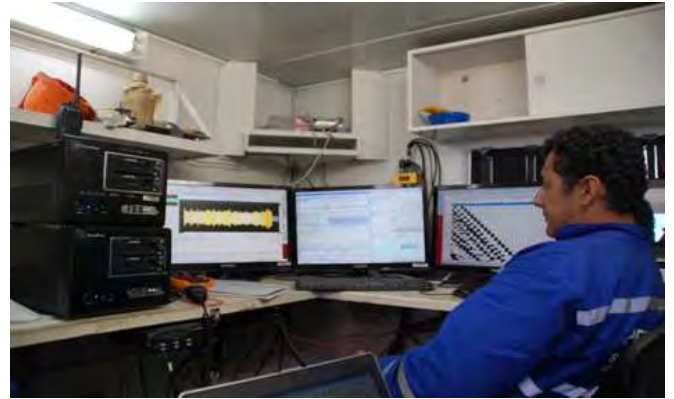


Figura 10. Pruebas de arranque del proyecto sísmico SIRUNI 2D realizadas en Enero 2013.

Se contaron con todas las medidas de seguridad y de HSE necesarias para proteger la integridad del personal, el buen desarrollo de las operaciones y en armonía con el medio ambiente y las poblaciones presentes en el área del proyecto.

Pruebas de Arranque y Definición de Parámetros

En Enero 2013 se realizaron las pruebas de arranque para establecer los parámetros de fuente primaria y secundaria del proyecto. Las pruebas fueron realizadas en el extremo oeste del bloque CPE-3 localizado en el Municipio Primavera. Se empleó un “*spread end-on*” que representara el “*offset*” máximo del proyecto 2.125 metros. Se colocaron un total de 170 estaciones receptoras y se perforaron varios pozos con distintos tamaños de carga. Se estableció un intervalo entre puntos fuentes con explosivo sísmico de 50 metros y 25 metros para los puntos fuentes a vibrar.

Para los “*Mini-Vibrator*” se establecieron una serie de pruebas donde se determinaron los parámetros de longitud de barrido, frecuencia de barrido, número de barridos, número de “*Mini Vibrators*” por punto fuente y finalmente el tipo de barrido. Además se calcularon estadísticas para conocer los tiempos de producción de los “*Mini Vibrator*” a lo largo de 2.125 metros. Se contó con el apoyo del grupo de procesamiento sísmico de PETROSEISMIC para realizar en tiempo real diferentes pruebas en los registros adquiridos y de esta forma tomar las decisiones más idóneas acerca de los parámetros de fuente sísmica del proyecto. Figura 10.

El análisis de los registros y los apilados de campo muestran reflectores con buena definición y continuidad hasta 1 segundo con eventos de frecuencias altas. Se observó una reflexión somera muy fuerte que corresponde con el tope del basamento. Los ruidos presentes en los datos fueron atenuados mediante pruebas de filtros y apilado. En general los datos adquiridos durante las pruebas se consideraron de buena calidad.

Tanto en los puntos fuentes donde se emplearon explosivos sísmicos como en los vibrados se observó que la velocidad de los primeros refractores se encuentra entre los 1700 m/s y 1850 m/s. Además se observó un fuerte evento lineal a un "offset" de 1.625 metros y entre los 0,7 y 1 segundo que modelados sísmicos posteriores demostraron que se trataba de la refracción que se produce en el tope del basamento. Se estimaron velocidades superiores a los 4500 m/seg. Figuras 11 y 12.

Los registros de campo adquiridos con los "Mini Vibrator" muestran un rango de frecuencias entre los 10 Hz a 140 Hz y las frecuencias asociadas al ruido coherente "Ground Roll" se encuentra entre los 15 Hz a 25 Hz. Los registros adquiridos con explosivo sísmico muestran un rango de frecuencias entre los 10 a 80 Hz y las frecuencias asociadas al ruido coherente "Ground Roll" se encuentra entre los 10-18 Hz.

Para las pruebas de explosivo se evaluó la calidad de los datos empleando dos tamaños de carga de 450 gramos y 900 gramos con una profundidad de pozo de 6,50 metros. Luego de evaluar los resultados se decidió emplear 450 gramos para la etapa de producción. Tabla 1.

Descripción	Parámetros
Tipo de Explosivo	SISMIGEL PLUS
Profundidad del Pozo	6,50 metros
Profundidad a Tope de Carga	6,00 metros
Número de Pozos	1
Número de Detonadores por Pozo	2
Cantidad de Carga	450 gramos

Tabla1: Parámetros seleccionados para los puntos fuentes con explosivo sísmico.

En lo que respecta a los "Mini Vibrators" los mejores resultados se obtuvieron al emplear 2 barridos por punto y vibrar con frecuencias de barrido 10-120 Hz y 10-140 Hz. El tipo de barrido empleado fue lineal. La longitud de barrido de 12 segundos se consideró idónea para la etapa de producción pero en caso de optimizar los tiempos de producción diaria se recomendó bajar la longitud de barrido a 8 segundos y el número de barridos a 1. Las pruebas de dos "Mini Vibrator" por punto a vibrar generaron registros de muy buena calidad pero fue descartada debido a aspectos operativos y de tiempo de producción. Se recomendó para proyectos a futuro realizar diseños de barridos no lineales. Tabla 2.

Descripción	Parámetros
Marca	IONOVA
Modelo	UNIVIB PLS-326
Número de "Mini Vibrator"	3
Número de "Mini Vibrator" en operaciones	2
"Peak Force"	26.000 Libras
Rango de frecuencias	1-475 Hz
Dimensiones	3 metros alto/1,92 de ancho/6,32 metros de largo
Número de "Mini Vibrator" por punto de emisión	1
Número de Barridos	2
Frecuencia del Barrido	10-140 Hz
Longitud del Barrido	8 seg y 12 seg
Tipo de Barrido	Lineal

Tabla 2: Parámetros seleccionados para los puntos a vibrar.

Los parámetros de geometría y registro establecidos antes de las pruebas no sufrieron variaciones. Se consideraron como idóneos para la adquisición de los datos. Los únicos cambios planteados fueron los relacionados con el intervalo entre puntos fuentes el cual fue incrementado en 50 metros para el registro de los datos en la parte este del bloque. Tablas 3 y 4.

Descripción	Parámetros
Intervalo en Puntos a Vibrar	25
Intervalo entre Puntos de Tiro	50 metros
Intervalo entre Estaciones Receptoras	12,50 metros
Número Total de Canales	340
"Fold" Máximo	85
Tipo de Tendido	Split Spread Simétrico
"Offset" Máximo	2125 metros

Tabla 3: Parámetros seleccionados para la geometría de adquisición.

Se estableció un proceso de QC para certificar el buen funcionamiento de los "Mini-Vibrators" durante el desarrollo del proyecto además de la revisión del contenido de frecuencia de los datos registrados en campo y de los apilados generados para cada una de las líneas.

Descripción	Parámetros
Fabricante	SERCEL
Modelo	428XL 5.0
Intervalo de Muestreo	1 milisegundo
Longitud del Registro	4 segundos
Fomato de Grabación	Segd
Marca de Geófono	ION
Modelo de Geófono	SMD4 para pantano
Frecuencia Natural	10 Hz \pm 2,5%
Arreglo de Geófonos	Lineal-Simétrico-Centrado en la Estaca
Número de Geófonos	12

Tabla 4: Parámetros seleccionados para el registro de los datos del proyecto.

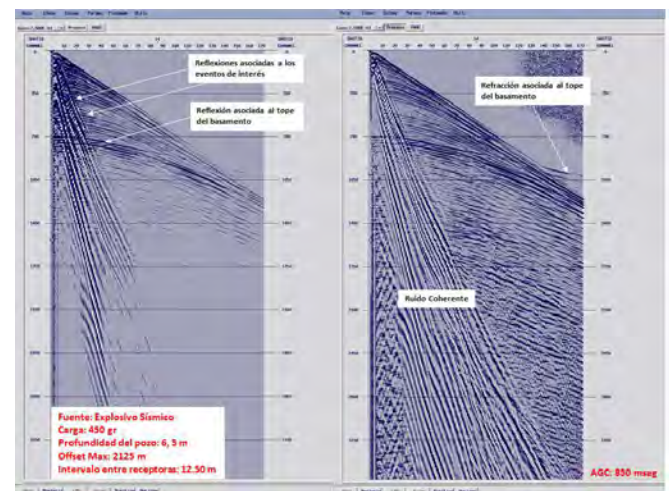


Figura 11. Registro sísmico 2D adquirido a partir de fuente tipo explosivo sísmico.

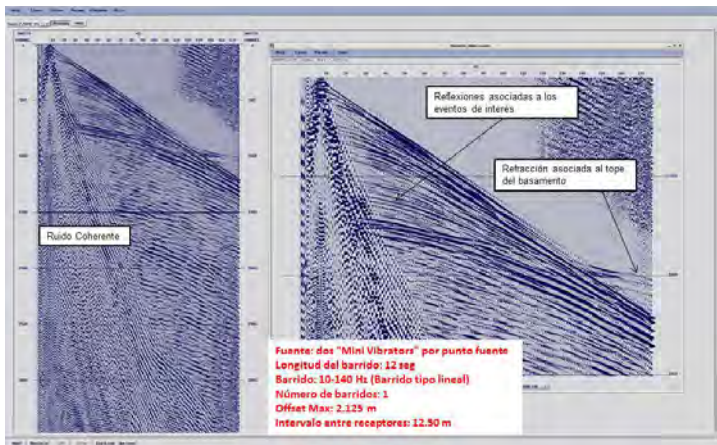


Figura 12. Registro sísmico 2D adquirido a partir de fuente tipo “Mini Vibrator”.

Procesamiento de los Datos Sísmicos

La compañía de procesamiento sísmico CGG se encargó del procesamiento de los datos sísmicos adquiridos en el bloque CPE-3. Los objetivos planteados al inicio del proyecto fueron obtener una buena imagen sísmica de los objetivos de interés y preservar las altas frecuencias adquiridas durante la etapa de registro.

Los principales retos que se encontraron durante el procesamiento fueron los siguientes:

- Cálculo de correcciones estáticas.
- Atenuación de ruido.
- Análisis de velocidad.
- Migración de los datos sísmicos (PSTM)

Para el cálculo de las correcciones estáticas se emplearon estáticas de elevación, estáticas de refracción y tomografía. Para la generación de los modelo de “Near Surface” se emplearon los datos provenientes de las refracciones y de los primeros quiebres de los registros sísmicos. Luego de diversas pruebas se llegó a la conclusión que un modelo de tres capas donde se incluía la fuerte refracción del basamento no permitía obtener buenos resultados así que se estableció un modelo de dos capas que permitió obtener una solución estable. El método tomográfico presentó mejores resultados respecto al método tradicional de refracción.

Para la atenuación de ruidos se aplicaron distintos módulos tanto en los registros como en los apilados. En los datos adquiridos con “Mini Vibrators” como con explosivo sísmico se presentaron algunas componentes de ruido coherente y aleatorio que fueron difíciles de atenuar y fue necesario aplicar métodos especializados. Durante esta etapa se realizaron los controles necesarios para preservar el contenido de frecuencia de los datos.

Para el análisis de velocidad se contó con el apoyo de los intérpretes del área que guiaron el proceso de selección de velocidades. Debido a lo inusual de los datos con información únicamente hasta 1 segundo y por las características geométricas del basamento fue necesario llevar un control detallado de los análisis de velocidad para preservar las características de interés de los datos especialmente con las trampas estratigráficas asociadas con los “pinch out” de las arenas de la Formación Carbonera contra los paleoaltos del basamento.

Para la migración de los datos se tuvo especial cuidado en minimizar los efectos de borde y optimizar la calidad de la imagen en zonas de interés para evitar sobremigraciones especialmente en las zonas donde se presentaban cambios bruscos de pendiente en el basamento. Se realizaron secciones con migración “Post-Stack” y “Pre-Stack”.

Las secciones finales entregadas por el centro de procesamiento muestran imágenes sísmicas de buena calidad, de alta resolución, que definen la geometría y estratigrafía de las formaciones geológicas de interés. Los aspectos estructurales del basamento quedan bien definidos y en ocasiones es posible apreciar posibles eventos por debajo del mismo los cuales se descartó que podrían estar asociados con multiples del tope del basamento. Los acunamientos de las secciones basales de la Formación Carbonera contra los paleoaltos del basamento se aprecian con gran detalle. Los sismogramas sintéticos generados con la información de los pozos perforados en el bloque logran una buena correlación con los datos sísmicos debido al alto contenido de frecuencia y a la calidad de los datos sísmicos adquiridos. Figuras 13,14 y 15.

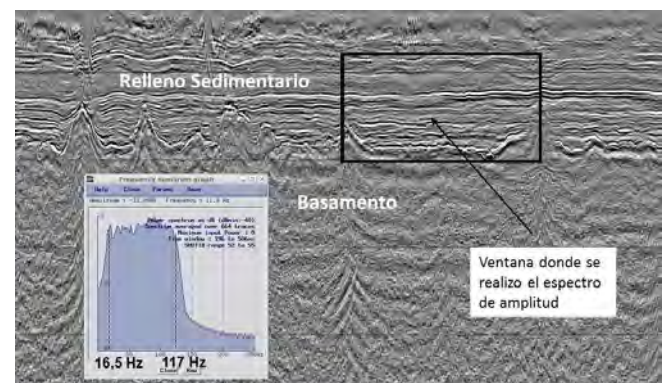


Figura 13. Ejemplo de una de las líneas adquiridas en el proyecto sísmico SIRUNI 2D. Nótese como queda bien definidos los eventos asociados al relleno sedimentario y los aspectos estructurales del basamento. El ancho de banda de los datos obtenidos se encuentra entre los 16,5 a 117 Hz.

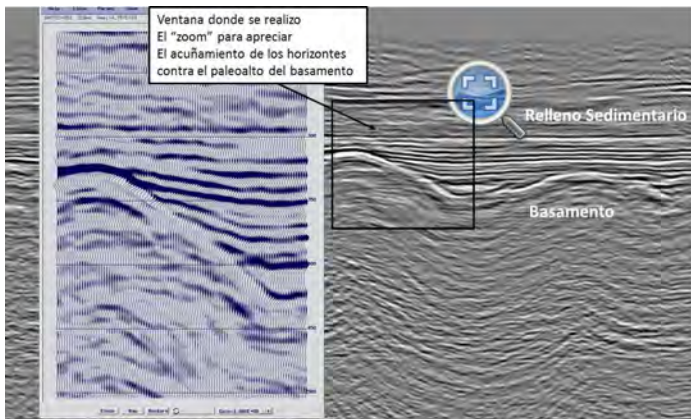


Figura 14. Ejemplo de una de las líneas adquiridas en el proyecto sísmico SIRUNI 2D. Nótese como queda bien definido el acuñaamiento de las arenas basales de la Formación Carbonera contra los paleoaltos del basamento.

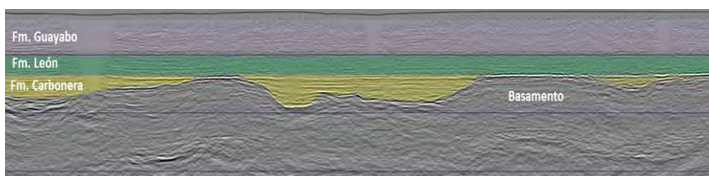


Figura 15. Ejemplo de una de las líneas adquiridas en el proyecto sísmico SIRUNI 2D. Nótese la buena definición de los rasgos estructurales del basamento.

Conclusiones

El proyecto sísmico SIRUNI 2D cumplió con los objetivos planteados de adquirir datos sísmicos de buena calidad y de alta resolución para la definición de los objetivos geológicos someros presentes en el área de estudio del Bloque CPE-3.

La metodología y los equipos empleados permitieron la adquisición de datos sísmicos con alto contenido de frecuencia en los Llanos Orientales de Colombia.

Las operaciones del proyecto SIRUNI 2D permitieron demostrar que es posible adquirir datos sísmicos mediante una fuente tipo “Mini-Vibrator” con un impacto ambiental bajo.

Las operaciones del proyecto fueron realizadas cumpliendo con los objetivos de HSE, en armonía con las comunidades y respetando la normativa ambiental

Agradecimientos

El autor desea agradecer a CEPSA-Madrid y CEPSA Colombia por el apoyo brindado para publicar este trabajo. Especial agradecimiento para el grupo de E&P de CEPSA Colombia y PETROSEISMIC que hicieron posible el desarrollo del proyecto sísmico SIRUNI 2D.