

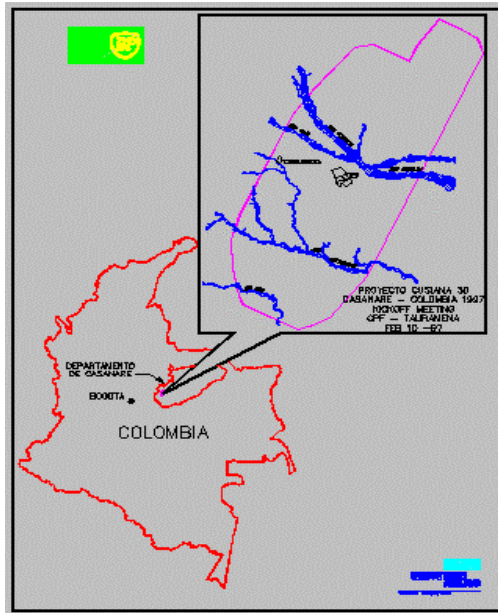
ADQUISICION SISMICA CUSIANA 3D –COLOMBIA

Autores:

Nestor J. Sanabrias Western Geophysical, 1998

Juan F. Uribe -Western Geophysical, 1998 - Expositor

Brigada 346-Western Geophysical-Colombia



1. RESUMEN

El proyecto Sísmico Cusiana 3D se obtuvo sobre el área y el campo en producción ya existente de Cusiana, ubicado en el piedemonte de la cordillera oriental de Colombia en el departamento del Casanare. La adquisición sísmica se obtuvo sobre una área geológicamente compleja, caracterizada por fallas y otras estructuras geológicas, ver Figura 1.

Con el fin de obtener una información más detallada sobre este campo, la compañía Western Geophysical realizó entre los años 1997 y 1998 una sísmica 3D sobre una área de 330 kms². La adquisición de esta sísmica tuvo como exigencia la de obtener datos sobre una zona donde existían varias dificultades. La primera

Figura 1. Localización del proyecto Cusiana 3D. dificultad era la de obtener cobertura necesaria y una buena información en el área del proyecto donde cruza el río Cusiana. Como segunda dificultad están las áreas donde existen zonas de pozos en producción, área de Baterías o estación de almacenamiento y bombeo del crudo. La tercera dificultad consistía en el manejo tan complejo de permisos para poder realizar la operación sísmica y el manejo logístico que se le debió de dar.

Como un gran logro para sacar este proyecto adelante en cuanto al cruce de obstrucciones tanto naturales como lo es el del río Cusiana y otras obstrucciones, debido a falta de permiso por parte de los propietarios de las fincas, se logró en muchos casos superar estos obstáculos mediante la utilización del desplazamiento lateral de las líneas de geófonos y el desplazamiento y utilización de pozos extras. También fue un factor crucial la utilización de enlaces micro-ondas sobre la línea de geófonos para superar algunos obstáculos. La implementación de un regado especial denominado "Serpentina" sobre el área del río Cusiana fue fundamental para que se obtuviera una cobertura importante sobre esta área donde no se pudo perforar muchos pozos. Debido al número de canales utilizados y debido al área tan extensa del proyecto fue necesario registrar el proyecto en dos bloques o Zippers, norte y sur.

De gran apoyo fue el contar con un programa de diseño de 3D para realizar un buen control de los atributos geofísicos y además realizar modelamiento del diseño en áreas críticas. Fue también de gran importancia el haber utilizado un sistema tan versátil para registro como lo es el Sercel 388 con su caja ultra liviana de un canal "ultra trim" la cual agilizó bastante la operación

INTRODUCCION.

Western Geophysical realizò entre los años 1997 y 1998 una sismica tridimensional en el denominado proyectosismico Cusiana 3D, el cual se realizò en el àrea ubicada en el piedemonte de la cordillera Oriental en el departamento del Casanare a unos 140 kms al norte de SantaFe de Bogota, Colombia. El proyecto se realizò sobre el àrea del campo ya en producciòn denominado campo Cusiana, ver Figura 2.

De acuerdo a las necesidades del cliente los principales objetivos del proyecto fueron los siguientes:

- Definir la estructura del campo Cusiana para la reubicaciòn y perforaciòn de nuevos pozos.
- Conocer en detalle el reservorio en profundidad, para minimizar los costos de perforaciòn de pozos.

Los principales obstáculos que se enfrentaron para dar cumplimiento al cronograma establecido, los mencionamos a continuaciòn:

- Robos de equipos de registro y perforaciòn, campamentos volantes, equipos de comunicaciòn y vehículos rentados por la compaõia.
- Atentado dinamitero al equipo de registro.
- Altas sumas de dinero exigidas por los propietarios para dar permiso de trabajar.
- Protección militar en areas sin infraestructura
- Ruidos generados por diferentes factores a la hora del registro.
- Invierno intenso
- Trabajos extras por propietarios negligentes
- Presencia de grupos armados por fuera de la ley
- Cruces de rios
- Dificultad en las comunicaciones
- Espectativas de empleo de contrataciòn de vehículos, mayores a los que la empresa necesitaba
- Incremento del número de vehículos

1. PARAMETROS

Los siguientes son los parámetros de adquisiciòn del proyecto:

Area en superficie: 333.43 km²

Celda: 15 x 15 m

Intervalo entre estaciòn de disparo: 30 m

Intervalo entre estaciones receptoras: 30 m

Intervalo entre lineas de disparo: 900 m

Intervalo entre lineas receptoras: 330 m

Número total de canales : 6 lineas x 240 canales/linea = 1440 canales, Figura 3

Swath roll: 3 lines

Fold : 12 3-Inline x 4-Xline

Densidad de trazas por Km²: 53333

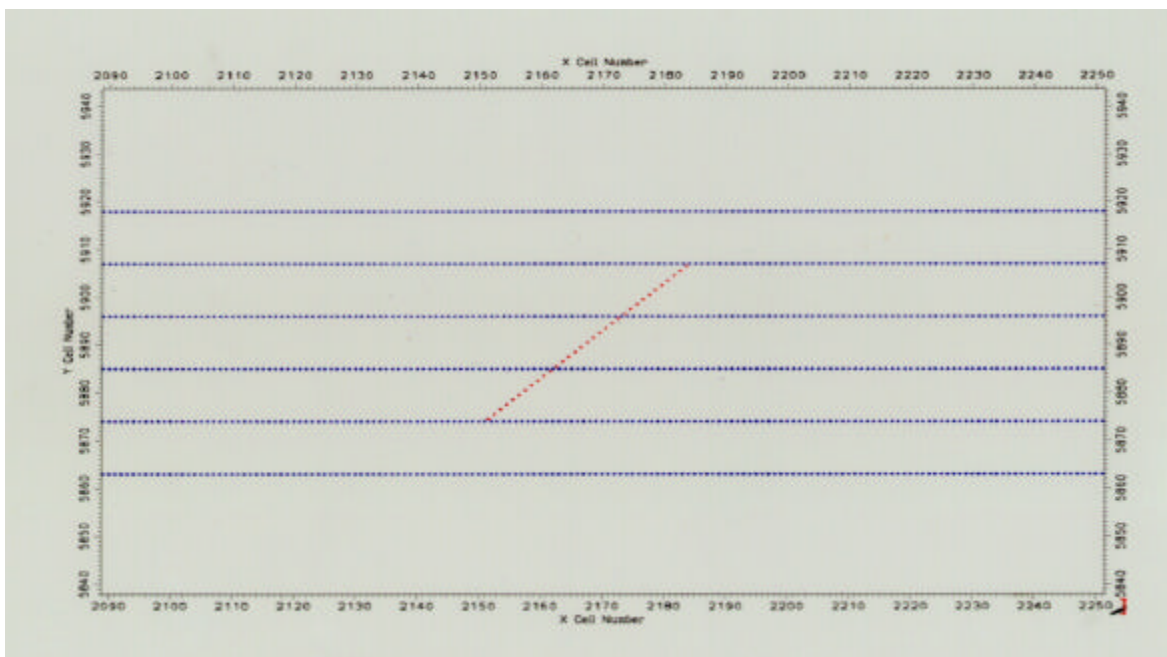
Número total de puntos de disparos: 12200

Número total de estaciones receptoras: 35115



Figure 2. Vista del àrea de adquisició sobre el campo Cusiana.

Figura 3. Patch de registro de 6 x 240 canales



2. TOPOGRAFIA.

Las actividades de topografía se iniciaron en Enero de 1997 con la nivelación y materialización de las poligonales de geóide, las cuales se utilizaron para la construcción del modelo geoidal local y para puntos de control en la nivelación de las líneas sísmicas. Las operaciones de corte y nivelación se realizó con 12 grupos de topografía. Los grupos por lo general estuvieron divididos así:

6 grupos en corte y nivelación de geófonos con equipo convencional y los otros 4 ó 6 grupos con equipo GPS para el corte y nivelación de los salvos.

Para la nivelación de las líneas de geófonos del proyecto se utilizó el sistema convencional en un 82% porque eran las líneas que no tenían desplazamientos y se podían controlar más fácilmente con observaciones solares y amarres a otras líneas y puntos de la poligonal de geoide, además de dar origen a las líneas de disparo. Las líneas de disparo se nivelaron con el sistema RTDGPS por la rapidez y opciones de desplazamiento que se podían tener en el momento de hacer un offset de uno o varios SP's de una línea. El 82% de los SP's se niveló con este sistema.

Desde que iniciaron las labores de perforación se conformó un grupo de topo-control el cual hacía desplazamientos de puntos de tiro que por una u otra razón no se podían perforar en el sitio inicialmente nivelado. Algunas veces hubo necesidad de tener 2 grupos de "Topo-control" para cumplir con desplazamientos de línea que se presentaban a última hora. Este grupo de control se mantuvo hasta el último día de registro para apoyo de los geofísicos de campo.

2.1 METODOLOGIA

Topografía Convencional

La red de poligonal levantada para la construcción del modelo geoidal fue el origen de coordenadas y elevación de las líneas. Todos los puntos de esta poligonal se monumentaron con varilla de 3/8" y los puntos de control de GPS se materializaron según especificaciones de marcas permanentes. Además de las poligonales que se realizaron para el cálculo del modelo geoidal se realizaron 4 tramos más (de poligonal) en sitios donde se necesitaba controlar coordenadas y elevación de las líneas, estas poligonales fueron ajustadas a la poligonal de geoide, Figura 4.

Para el replanteo del programa se hicieron poligonales a lo largo de las líneas receptoras usando lecturas directas y recíprocas completas de ángulos horizontales, verticales y distancias inclinadas en los puntos de cambio; los cuales sirvieron posteriormente para los inicios de las líneas de disparo.

La mayoría de los puntos replanteados (geófonos-disparos) fueron localizados desde los puntos de cambio en forma radial. Para el control interno se hacían observaciones solares a lo largo de las poligonales para chequear el acimut de cálculo. Para la posición y elevación se realizaron poligonales de enlace entre las respectivas líneas y a las poligonales de control, determinando así su grado de exactitud.

Topografía Satelital

Para el levantamiento de los puntos (PR's y PT's) por topografía satelital se usó el Sistema de Posicionamiento Diferencial en Tiempo Real (RTDGPS). Este es un método donde la estación master emite un mensaje de corrección (RTCM-104, Industria Standart) a uno o más receptores móviles y los receptores móviles usan esta información para corregir su posición. Durante el proyecto se ocupó una sola posición de master, que estuvo localizado en la locación del pozo Buenos Aires Y (BAY) con puntos repetidores de señal en la escuela "Las Delicias" y en el cerro "912" teniendo así cubrimiento de todo el programa.

En el receptor de la estación master se fijaron ya pre-establecidas las coordenadas geográficas en datum BOGOTA-75 y la elevación referenciada al elipsoide. La ventaja de tener en el receptor master las coordenadas en el datum local es evitar la transformación de coordenadas del datum WGS84 a BOGOTA-75, y la elevación elipsoidal se convirtió a nivel medio del mar con el software diseñado por Western (PGEIDA), para el cálculo de la ondulación local, ver Figura 5.

Los parámetros de campo para el posicionamiento de los puntos fueron:

- PDOP= 6.0 o MENOR
- Mínimo 4 satélites
- Un mínimo de 10 épocas antes del registro
- Ángulo de elevación 15°
- Mensaje de datos no mayor de 5 segundos

Figura 4. Cuadrilla de topografía de equipo convencional.



3.0 PERFORACION

Durante este proyecto la perforación estuvo apoyada por varios grupos de perforación y equipados con los siguientes elementos :

1 Compresor PX 100, 20 Rollos de manguera, 10 Tubos de perforación en aluminio de 4' (pies), 1 Martillo de perforación bull rock # 2, 1 Broca de ala de 3¼ " (pulgadas), 1 Lubricador, 1 Super bufalo - cleco 19 reformado con aro circular y llave de cierre rapido.

Figura 5. Sistema satelital RTDGPS (Foto de TRIMBLE)



Se utilizaron también 2 buggy punzones por problemas de formaciones aluviales o lechos de los ríos Cusiana y Tacuya, no siendo posible perforar con equipos de aire, Figura 6.

3.1. PARAMETROS

Los parámetros de perforación establecidos para este proyecto fueron los siguientes:

1 Pozo de 36', 3 Pozos de 16', 5 Pozos de 11'

4.0 REGISTRO

El Registro del proyecto Cusiana 3D se llevo a cabo en dos bloques o Zippers, Norte y Sur, esto debido al número de canales utilizados y debido al área tan extensa del proyecto. Figuras 7 y 8.

4.1. CRUCES SOBRE CARRETERAS Y RIOS

Para realizar los cruces sobre la vía principal durante el registro en la zona norte se utilizaron protectores de caucho para envolver el cable en los tramos que era necesario cruzar sobre la carretera, el resultado con estos protectores fué perfecto puesto que no se dañó ningún cable y no se interfirió con el tránsito sobre la carretera, ver Figura 9.



Figura 6. Camión-Buggy con broca rotatoria.

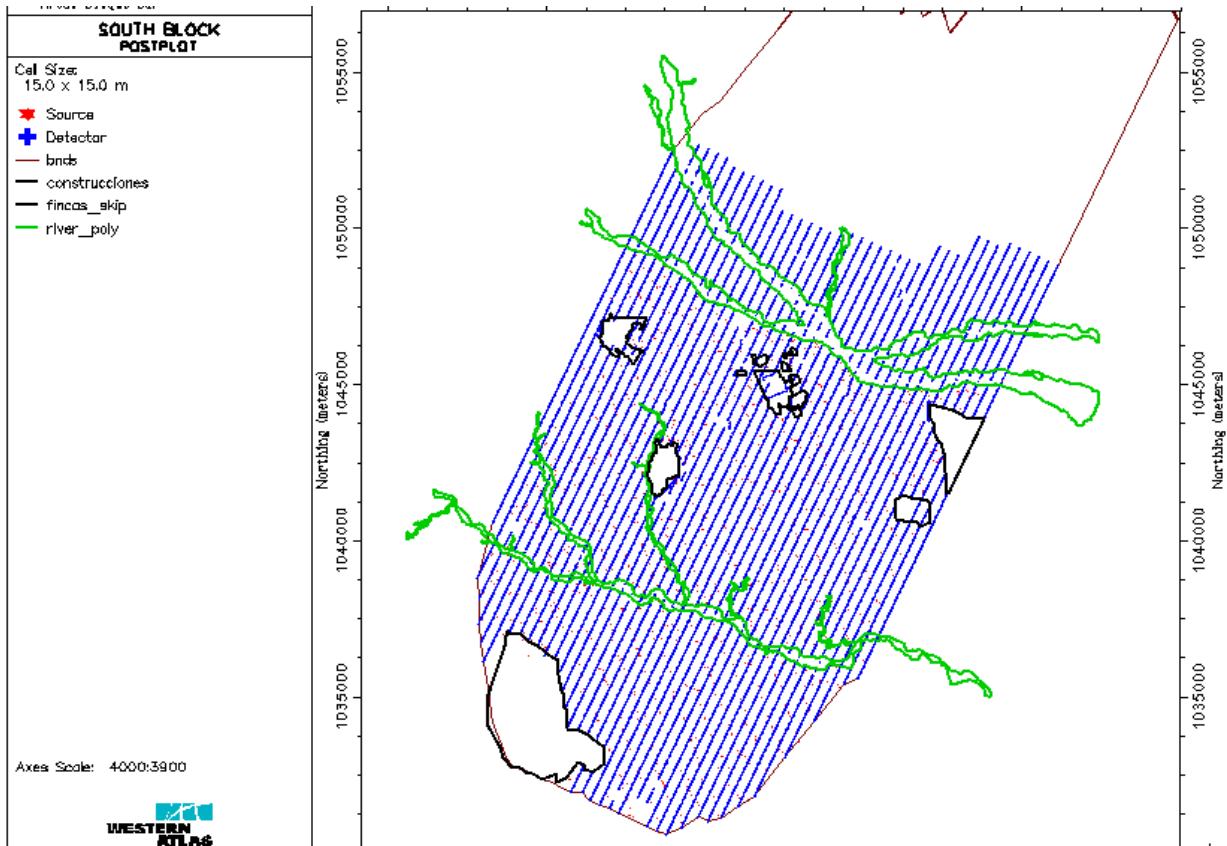


Figura 7. Mapa final del bloque ò Zipper Sur

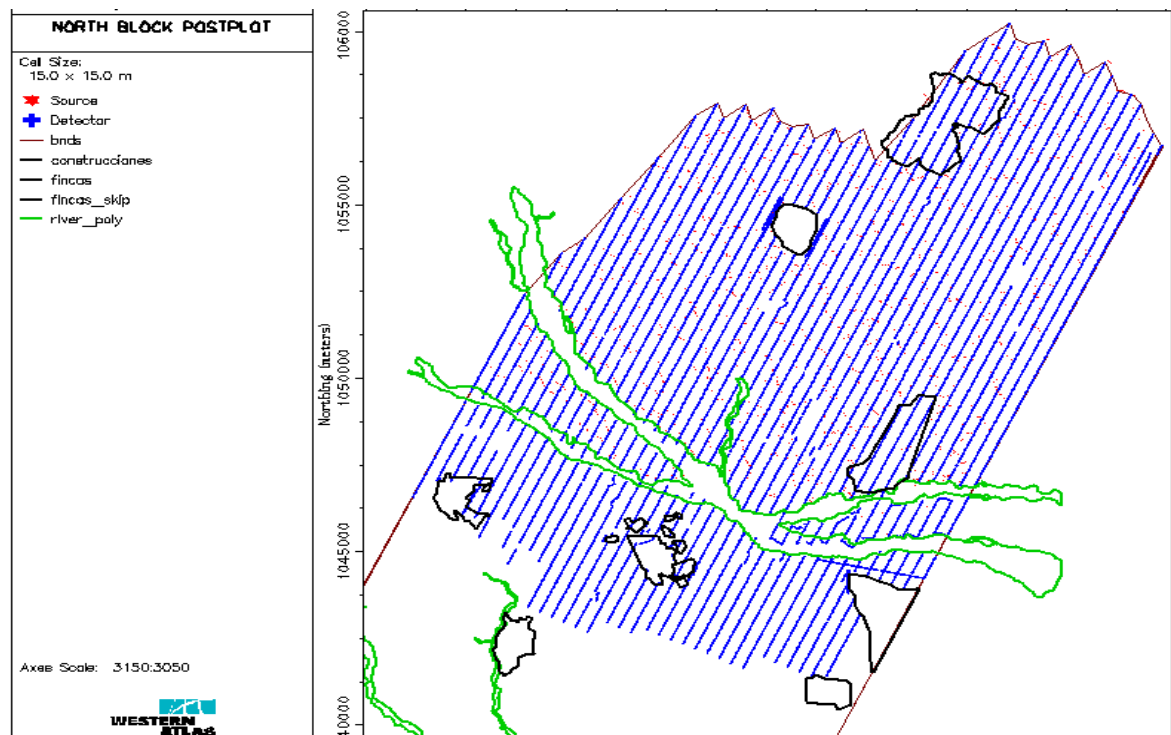


Figura 8. Mapa final del bloque ò Zipper Norte

La utilización de estos protectores previene el daño de los cables y sobretodo evita el cruce aéreo el cual al realizarlo puede exponer a los trabajadores a riesgos como por ejemplo los cables de alta tensión que van paralelos a la carretera y los vehículos que transitan por la misma.

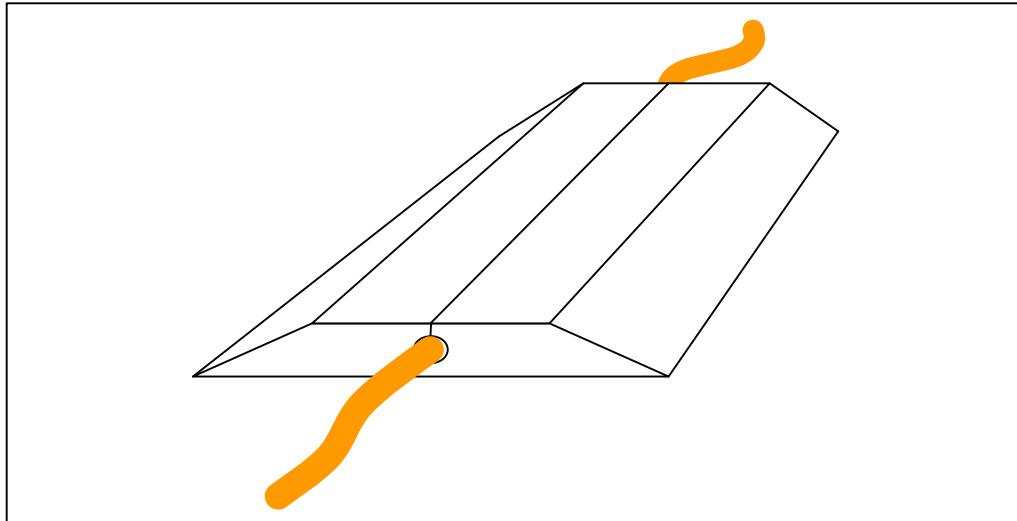


Figura 9. Protector de caucho para cable en los cruces de carretera.

La utilización de los radioenlaces en la zona sur del proyecto se realizó especialmente para los desvíos en la línea y en los sitios donde no fué permitido el acceso por parte de los propietarios de los predios para regar línea.

En la zona norte los radio enlaces Data-links, fueron una opción fundamental, puesto que se utilizaron para realizar los cruces sobre el río Cusiana y para llevar la conexión de la línea transversa hasta el instrumento (la línea transversa es la que conecta todas las seis líneas del tendido y lleva toda la información al instrumento "Casa Blanca"), logrando con esto flexibilidad en la ubicación de "La Casa Blanca" utilizando solamente algunos puntos estratégicos con fácil acceso y seguridad.

Gracias a la flexibilidad del equipo Sercel SN388, la línea transversa se configuró de varias maneras según las necesidades, teniendo algunas veces hasta doble salto de microondas (Conexión de dos radioenlaces seguidos) en la línea transversa.

Un ejemplo de las configuraciones utilizadas, se muestran a continuación:

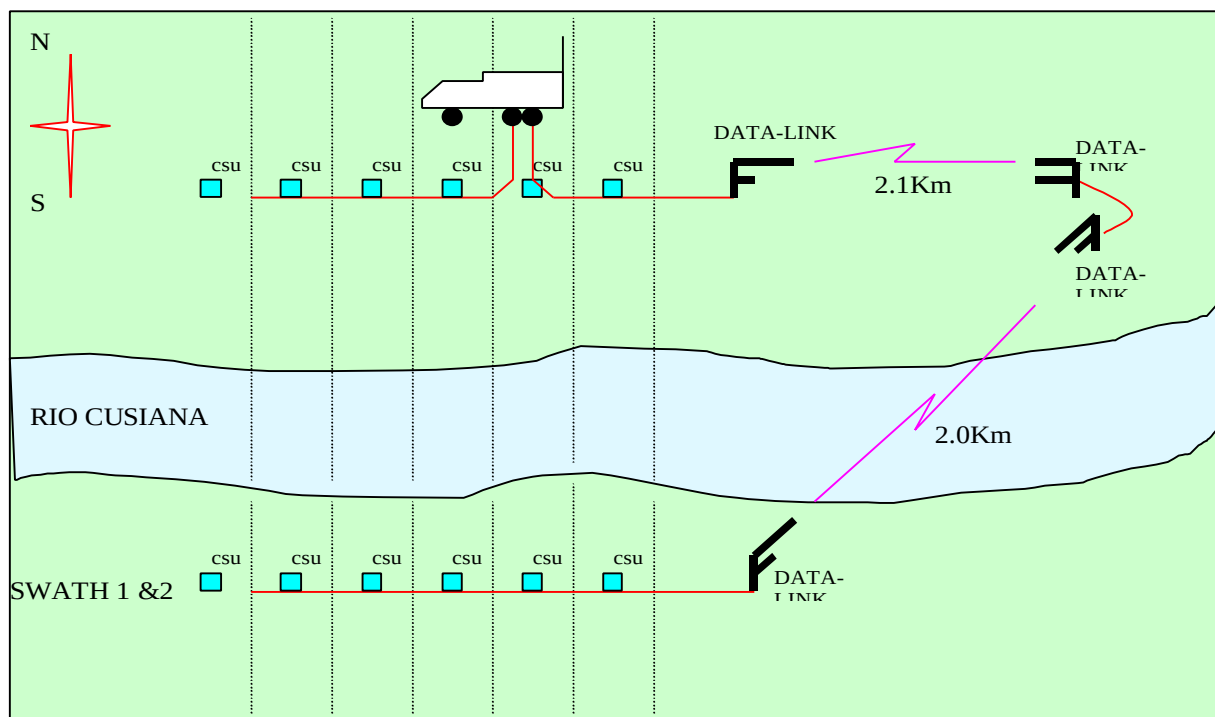


Figura 10. Configuración del tendido de líneas y los Data-links

4.2 HELICOPTERO

Se contó con apoyo de helicóptero para transporte de compresores para perforación y material de registro, ver figura 12 .



Figura11. Radio enlaces microndas

Figura 12. Operación Heliportable



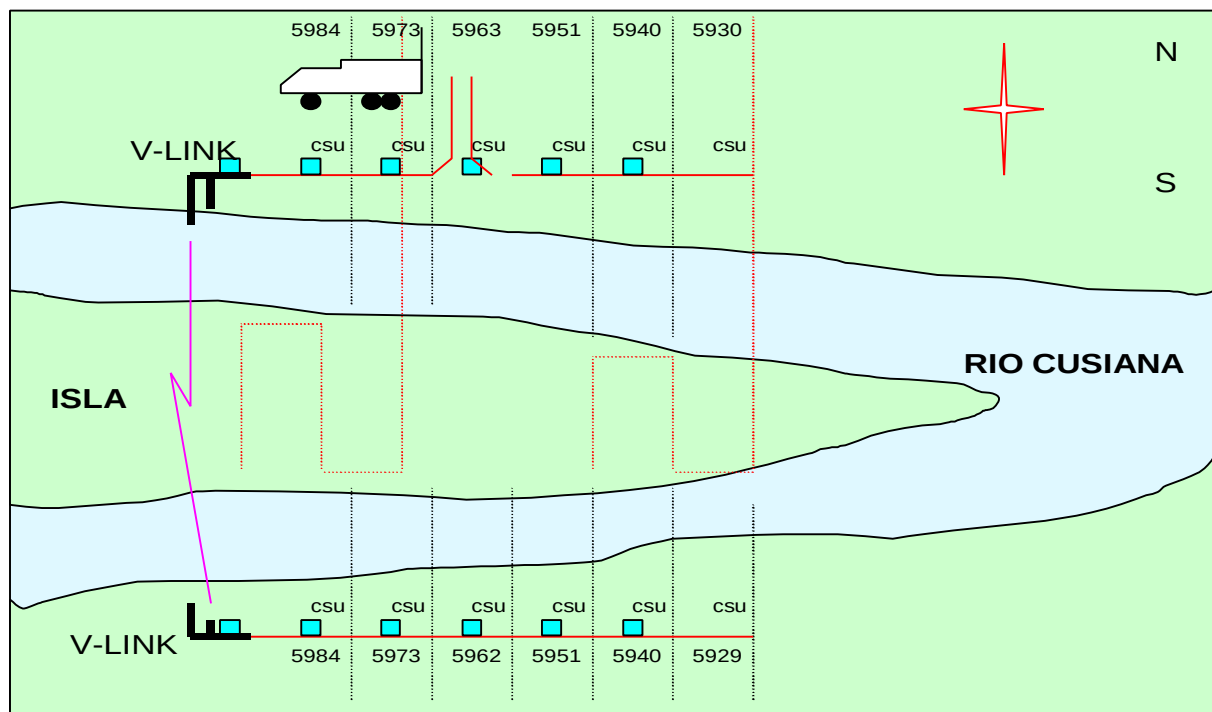


Figura 13. Área del río Cusiana donde cruzaban las líneas de geófonos.

4.3. SERPENTINAS

Para eliminar los cruces sobre el río Cusiana, ver Figura 13 y 14, las líneas dentro de la isla Turbayista se conectaron entre sí. Un ejemplo de este regado se aprecia a continuación:

Figura 14. Regado con configuración tipo serpentina.



4.4. CALIDAD

La calidad del registro puede ser afectada por factores como , ruido ambiente , baja energia problemas de telemetría y otros.

El ruido en el ambiente son señales indeseadas que pueden ser registradas junto con las señales de interés para el estudio sísmico. Las fuentes de señales de ruido pueden ser por ejemplo vehículos desplazándose sobre la línea sísmica, naves aéreas, viento, lluvia, ganado, etc.

Para reducir el ruido se implementaron retenes en las vías sobre la línea, los cuales controlaron el tránsito de vehículos mientras se realizaba el registro, se coordinó con las cuadrillas de trabajo para informar de la presencia de maquinaria pesada trabajando o naves aéreas en la zona, se coordinó con las compañías que realizaban trabajos de obras civiles para detener la maquinaria pesada durante el registro.

Estas señales también pueden ser observadas en el monitor, cuando estaban presentes se evitaba registrar y se buscaba solucionar la situación y eliminar o minimizar la fuente de ruido en lo que fuera posible.

Los ruidos generados por fuentes puntuales ejemplo CPF, locaciones, y teas fueron incontrolables. El Tráfico sobre la vía Villavicencio – El Yopal fue parcialmente controlado en la parte sur.

Los pozos con baja energía fueron muy pocos (ver estadísticas), y los only cap se presentaron en los pozos cargados con 4 o más meses de anterioridad.

Se realizaron pruebas diarias y mensuales a los equipos de todos los parámetros que afectan una adquisición de datos con un instrumento telemétrico como por ejemplo ruido interno, distorsión, intermodulación, respuesta a una señal impulso, etc. los cuales siendo correctos y cumpliendo con unas especificaciones mínimas, garantizan que la adquisición y el proceso de las señales registradas por el sean óptimos.

Todo el material fue rotado y chequeado por continuidad y leakage, los geófonos además se chequearon con el instrumento de pruebas SMT-100 y si era necesario se reparaba antes de salir nuevamente al campo, con esto se evitaba trabajar con material defectuoso o en mal estado.

El promedio de pozos registrados por día es de 95 pozos.

5.0 Control de Calidad y Procesamiento en Campo.

Se realizaron visitas continuas a los diferentes frentes de trabajo para verificar el entendimiento por parte de los trabajadores de los parámetros técnicos del proyecto y observación de procedimientos en la ejecución de la diferentes labores, así como el control de posiciones, profundidad y estado de carga de los pozos.

Se prestó apoyo a las diferentes cuadrillas en los casos en los que se presentaban situaciones técnicas fuera de los parámetros, como reubicación de pozos, desplazamiento de líneas de geófonos, cambios en la profundidad de los pozos, tamaños de carga etc.

Se corrigieron problemas de ubicación de pozos, pozos no perforados, pozos no cargados y recuperación de pozos dañados por los colonos, con ayuda de la base de datos y del programa SPECS.

Base de Datos, Estadísticas y Reportes

El control de calidad en oficina se realizó con la ayuda de la base de datos, en la cual se llevó día a día un control de pozos nivelados, perforados, cargados y registrados con el fin de evitar errores en campo como pozos sin nivelar, perforar, cargar o registrar y verificar el cumplimiento de parámetros técnicos. Con esta base también se prestó apoyo a los diferentes departamentos para controles internos de los mismos. Con la base de datos se realizaron las estadísticas parciales y finales del proyecto para la generación de reportes de control para el grupo y el cliente.

Manejo de Diseño

Con el programa SPECS de WESTERN montado en el sistema IBM RISC 6000, se revisaron y generaron nuevas propuestas para la ubicación tanto de pozos como de geófonos.

Una herramienta esencial con que se conto en el SPECS, fue la posibilidad de tener un display interactivo de las fotografias aereas del bloque Cusiana con los puntos de fuentes y receptores del diseño. Esto permitio la planificación en una forma efectiva de los rediseños para las obstrucciones mencionadas. Un ejemplo de este tipo de displays se presenta en la figura 15 donde se observa el área del CPF.

Procesamiento de Datos Sísmicos

Los datos adquiridos por el departamento de registro se revisaron diariamente, para detectar problemas de ruido, trazas muertas, problemas en el equipo de adquisición, problemas de grabación en las cintas. Este control se hizo inicialmente en los monitores de campo y directamente en los registros con el sistema OMEGA.

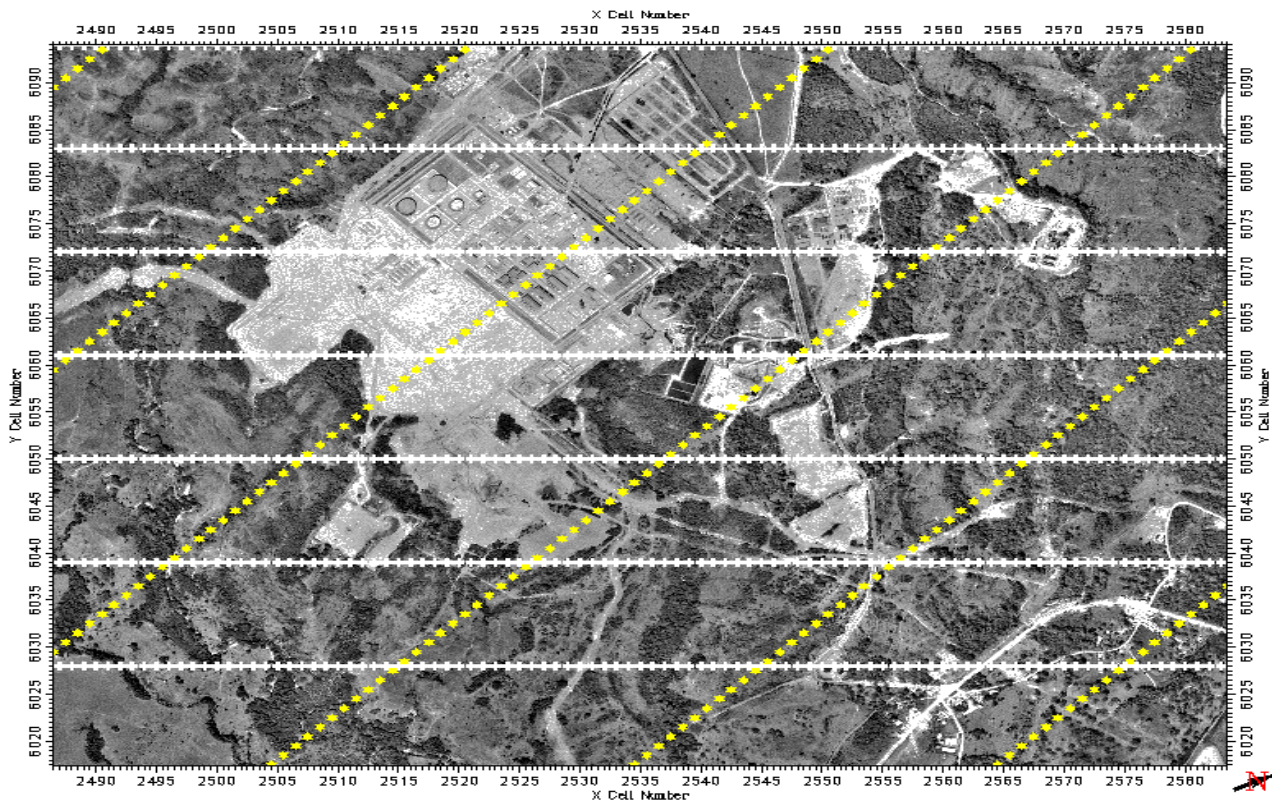


Figura 15. Imagen satelital del CPF

Envío de Cintas e Información Soporte al Cliente

La información enviada al Cliente y al centro de proceso por swath fue la siguiente:

- Copia en formato seg-y de los registros con geometría actualizada en el header.
- Mapa de avance de atributos geofísicos.
- Archivos SP's y UKOOA
- Brute Stack Inlines
- Información de soporte y observer report.

5.1 CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS SISMICOS.

Los procedimientos de proceso para control de calidad se enfocaron principalmente hacia el control de la geometría para cada punto de disparo y un procesamiento muy basico de los datos como monitoreo de la información adquirida. El objetivo final del trabajo de procesamiento fue la generación de una copia en formato seg-y de los datos adquiridos por swath, la cual incluía en el header la geometría correcta de cada punto de disparo y los tiempos de primer arribo. Para asegurar la calidad de esta información la cual finalmente se envió al centro de proceso de Western Geophysical en Denver Colorado, se estableció la siguiente secuencia de trabajo.

1. Chequeo diario de la geometría para los registros adquiridos. Se implemento el programa Qcviewer del sistema Omega para obtener un display de cada punto de disparo en el cual se compara

basicamente la curva de tiempos de primer arribo real con la curva de primeros arribos predictivos. Esta última curva se calculo utilizando una velocidad constante para el primer arribo obtenida del registro y las coordenadas de puntos de fuente y receptores. Un ejemplo del display generado se presenta en la Figura 16.

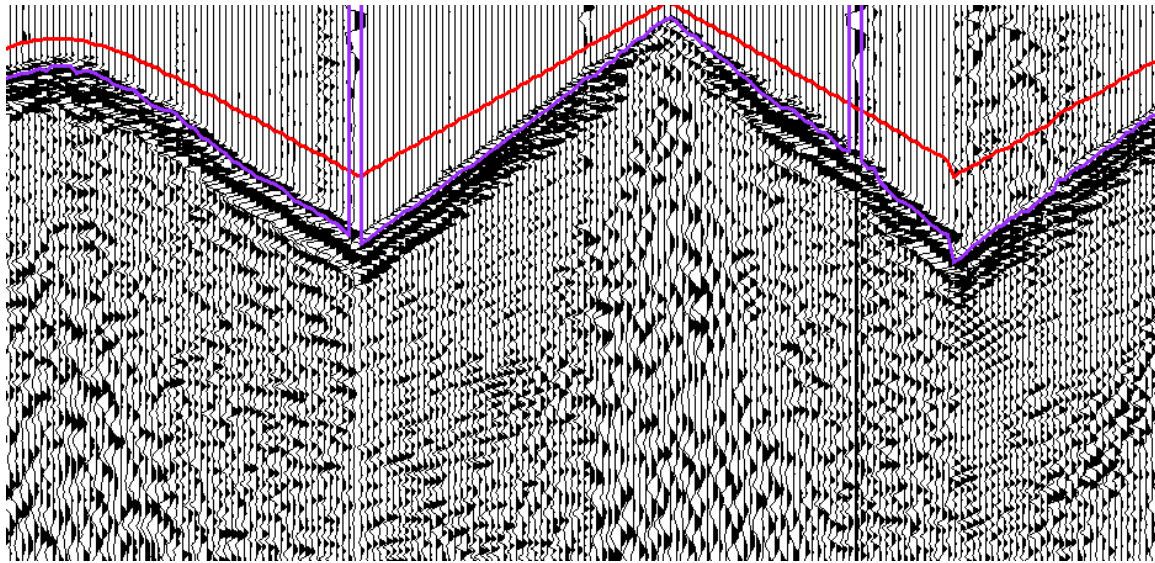


Figura 16 Ejemplo de display en Qcviewer.

El analisis diario de este primer display se concentra en la similitud en los conos del primer arribo entre la curva predictiva y la curva real. La similitud en posicion del vertice del cono confirma la coordenada del punto de disparo. En cuanto a la confirmación de coordenada para los geófonos, cualquier variación en la posición debida a desplazamiento de los geófonos, debe presentarse tanto en la curva predictiva y como en la real. Un ejemplo de este caso se observa en la figura 17. Cuando la coordenada para el punto de disparo no es la correcta, se presenta un desfase muy evidente entre las dos curvas. Un ejemplo de este caso se presenta en la figura 18. El procedimiento a seguir cuando se presentó el último caso, fue el de confirmar con el departamento de topografia las coordenadas para el punto. En el mayor porcentaje de los casos el error se presentó por coordenadas que no se actualizaron debidamente, cuando se reubicaban los pozos. En otros casos se hizo necesario enviar al topógrafo de control al punto de disparo para hacer levantamiento de la coordenada correcta. Durante el registro del bloque norte se contó también con la herramienta de las coordenadas grabadas por el disparador (shooter), el cual con el sistema GPS grababa la coordenada del punto de disparo. Las nuevas coordenadas para el punto erroneo, obtenidas en cualquiera de los casos se sometieron nuevamente al chequeo contra el registro en el Qcviewer.

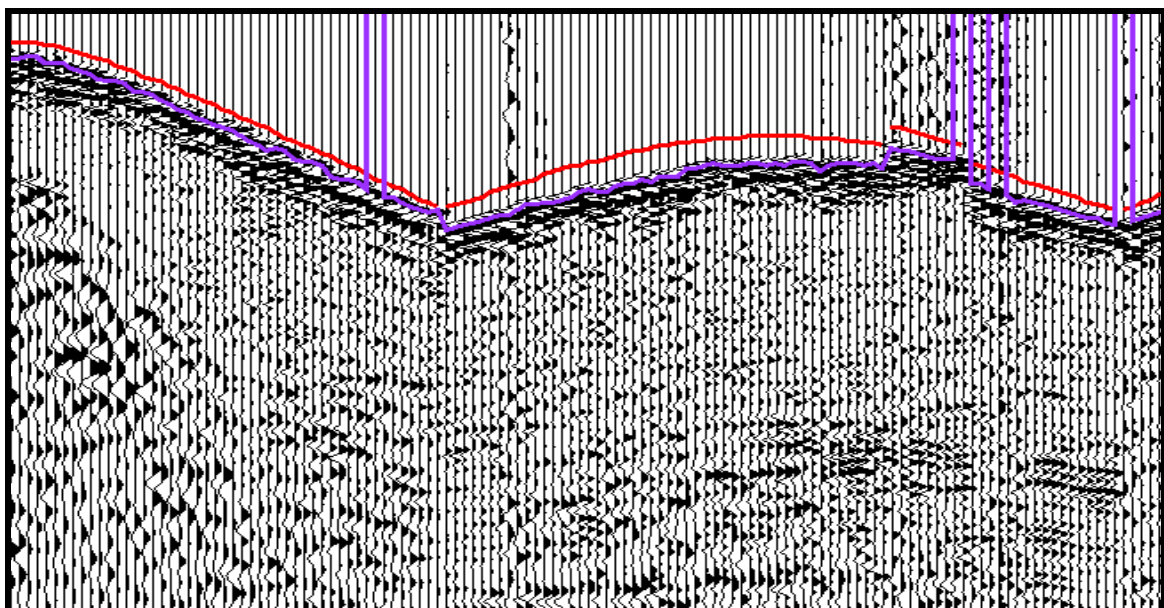
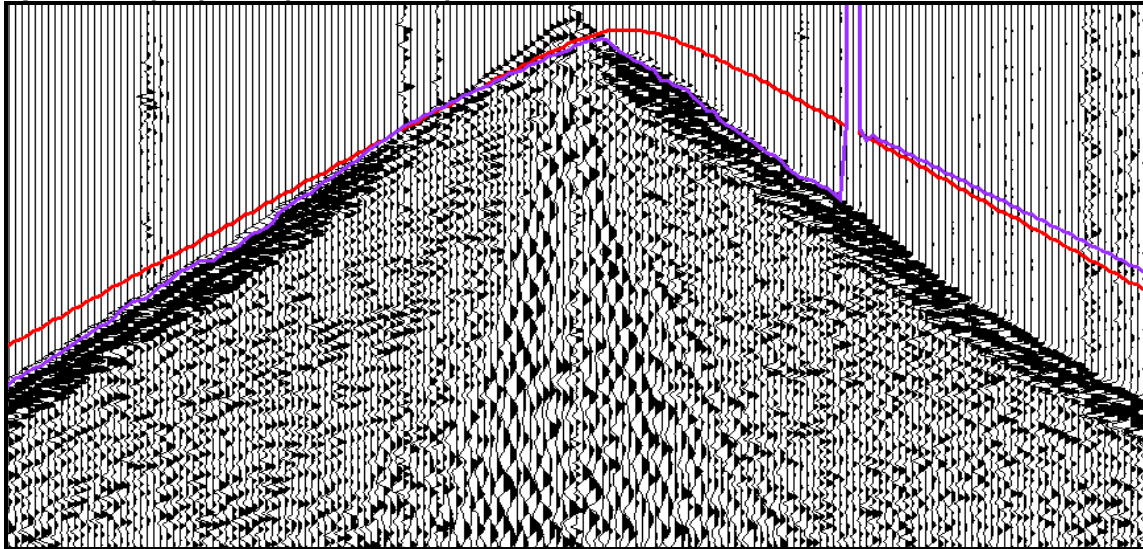
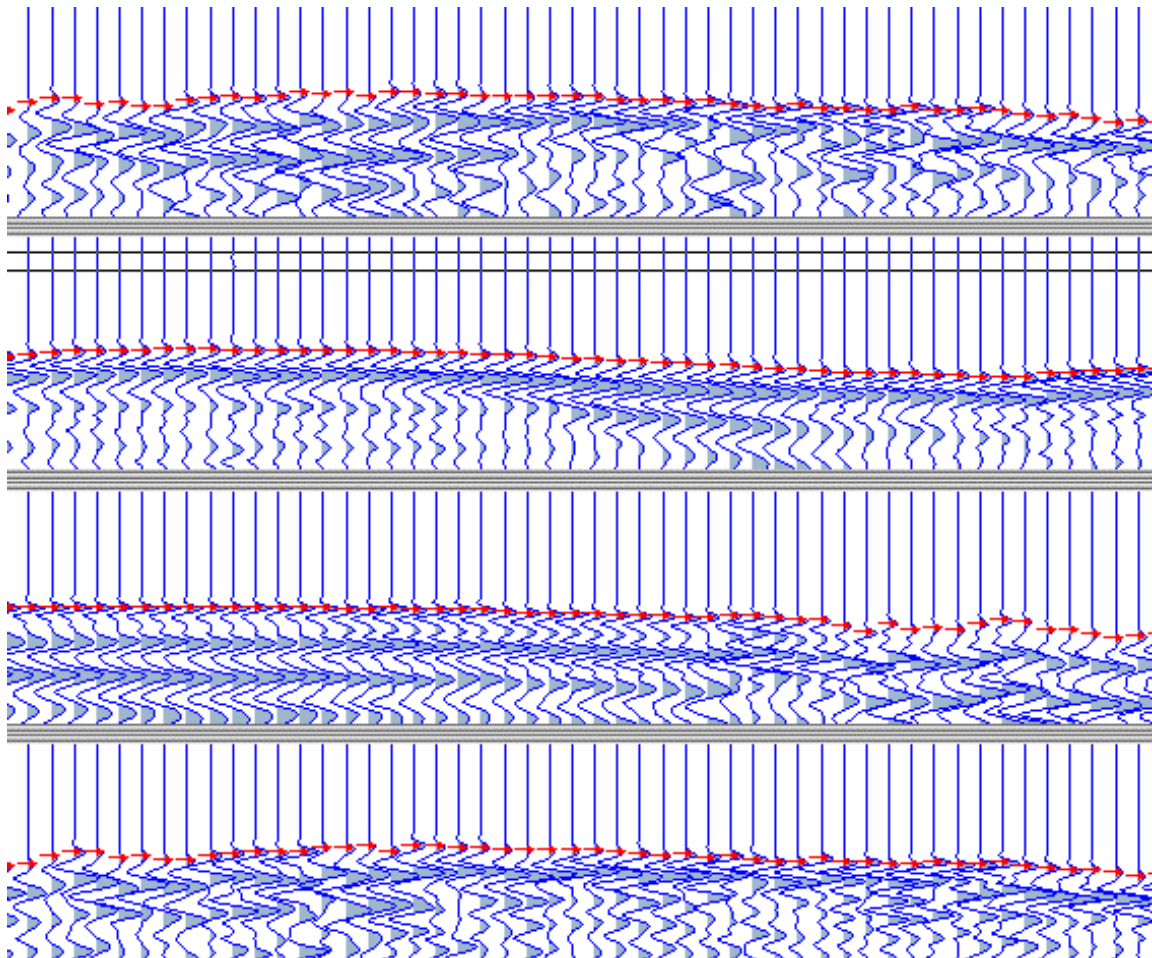


Figura 17 Comportamiento de las curvas de primeros arribos con geófonos desplazados.

Figura 18 Ejemplo de punto de disparo con coordenadas erroneas

Picado de primeros arribos. Una vez confirmada la geometría de cada punto de disparo, los datos se pasaron por un algoritmo de picado de primeros arribos automatico, generando un file que se edito posteriormente en la utilidad **event picker** del Omega. Los datos utilizados para definir los tiempos de primer arribo se limitaron para rangos de distancia fuente a detector entre 0 y 1500 metros. A estos datos se les aplico corrección de LMO antes del event picker, corrección que permite detectar en el nuevo display cualquier posible error de geometría que no se hubiera detectado en el chequeo previo. Un ejemplo de el display observado en el event picker se presenta en la figura 19. Los tiempos de primer arribo editados para cada swath se enviaron al centro de proceso en Denver para todo el proyecto y a Bogotá para el bloque Norte. Esta información es utilizada para el calculo de las correcciones estáticas que se aplican a los datos durante el procesamiento.

**Figura 19. Registros con correccion LMO y tiempos de primer arribo.**

Norte. Esta información es utilizada para el calculo de las correcciones estáticas que se aplican a los datos durante el procesamiento.

2. Brute stacks. Con el fin de obtener secciones apiladas de control de calidad, se seleccionaron datos de inlines correspondientes al subsuelo en las líneas de geófonos. La secuencia de proceso que se aplicó a estos datos fue la siguiente:

- Remuestreo a 6 mseg.
- Minimum band pass filter
- Time function gain
- First break time Mute
- Deconvolución predictiva. Operador 200, white noise percent 0.01
- Time variant spectral whitening
- Corrección dinámica. Función de velocidades de Cusiana 2D.
- Datum final 1400, velocidad de remplazamiento 2450 m/seg.
- Atenuación de ruido aleatorio.

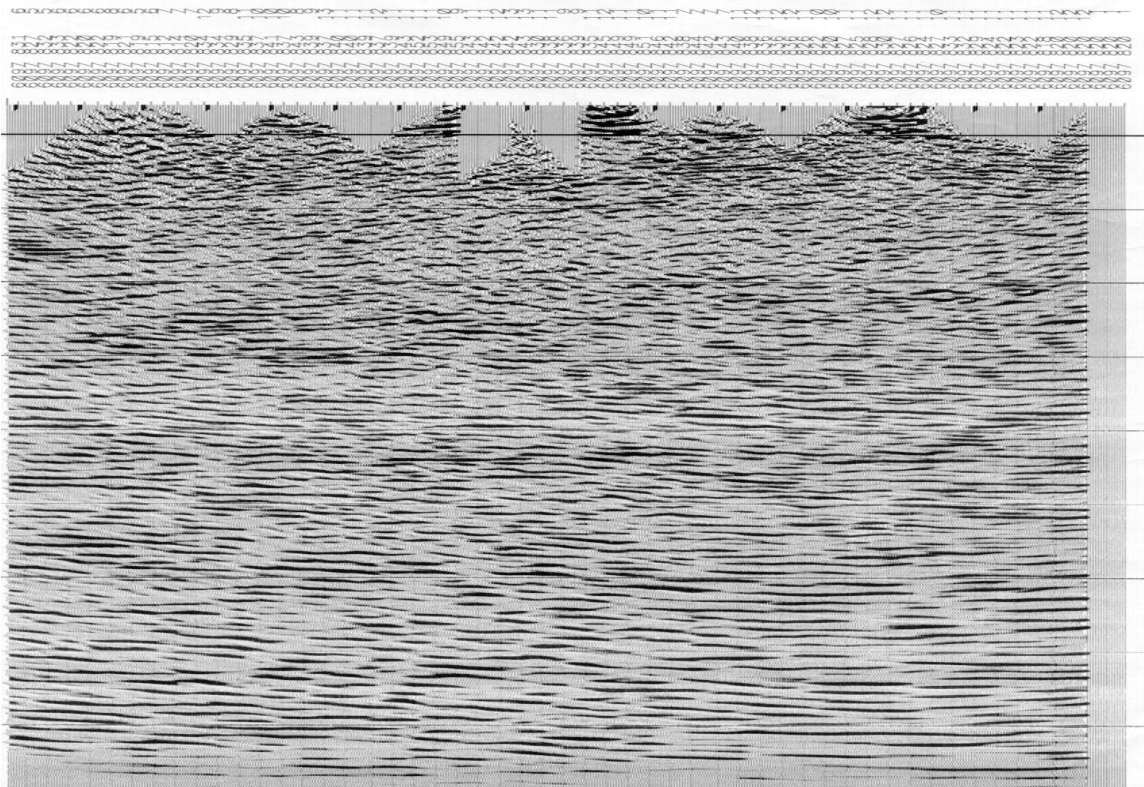


Figura 20. Sección sísmica Inline

6.0 CONCLUSIONES

1. En trabajos como el de Cusiana 3D, donde los problemas de permisos y las restricciones ambientales ocasionan un alto número de pozos reubicados, es muy importante el manejo de bases de datos en el departamento de topografía, con el fin de mantener un control exacto sobre las coordenadas finales de los puntos de disparo. Igual manejo se debe dar a los tramos de estaciones receptoras que haya sido necesario reubicar.
2. Debido a la gran cantidad de predios que presentaron inconvenientes de permisos y que requirieron en algún momento de análisis técnico para dejarlos sin registrar o hacer recuperaciones, es necesario contar con una digitalización detallada de los predios que involucren un proyecto. Este trabajo se debe realizar con suficiente anticipación, previo a la iniciación de labores de los grupos en el campo. Al contar con esta información, se pueden tomar decisiones más rápidas y exactas a cerca del tratamiento que se le pueda dar a las fincas con problemas. Es de anotar que según las estadísticas, el mayor porcentaje de pozos sin registrar fue debido a problemas de permisos.
3. El uso de fotografías aéreas del área del proyecto, implementadas como imágenes en el programa Specs, fue de gran utilidad en el diseño de recuperaciones y undershots en todas las zonas de obstrucciones que se presentaron. El uso de estas imágenes se puede sugerir a los clientes desde las etapas iniciales de negociación de un proyecto, con el fin de que alcancen a ser preparadas y rectificadas para el programa Specs. Incluso Western podría considerar independientemente del cliente la obtención de esas imágenes como herramienta de apoyo a las decisiones de la parte técnica, las cuales se van a ver reflejadas en la rapidez y exactitud del trabajo que se va a realizar en el campo.
4. El nuevo sistema de GPS implementado como control de calidad para la posición del disparador, mostró buenos resultados y gran exactitud en los puntos que fue requerido. El manejo de bases de datos organizadas en topografía y esta nueva herramienta en el sistema de registro, permiten asegurar la calidad de la exactitud de las coordenadas de los puntos de disparo.
5. La secuencia de chequeo de geometría y procedimientos implementada en el departamento de Control de calidad mostró ser más eficiente y exacta que las utilizadas en los dos anteriores proyectos 3D del grupo. La diferencia principal la hizo la implementación del programa Qcviewer el cual permite un chequeo rápido y confiable de la calidad de las coordenadas de puntos de disparo. Por otra parte el manejo de bases de datos donde se llevo la historia de cada punto de disparo, hizo que los errores de geometría presentados se redujeran a un promedio de 1 punto por swath. Esta cantidad es mínima, si se compara con las cifras de errores que se manejaron en los proyectos de Puerto Boyaca 3D y Cupiagua, 3D, donde en promedio fue necesario el chequeo de 10 puntos por swath.