

PRUEBA DE EXPLOSIVOS EMPLEADOS EN PROSPECCION SISMICA

Eduardo Achem¹, Víctor Pelayes¹, Mario Ramos¹, Daniel Lorenzo², Juan La Vecchia²
Pacífico Concetti³, Miguel Espósito³, George Cariz⁴, Gerardo Flores⁵

¹ REPSOL YPF, Eduardo Talero 360, Neuquén, Argentina, eachem@repsolypf.com

² REPSOL YPF, Av. Roque Saenz Peña 777, Buenos Aires, Argentina dlorenzora@repsolypf.com

³ WesternGeco, Av. Roque Sáenz Peña 1149 P11, Bs.Aires, Argentina pconcetti@westerngeco.com

⁴ Dyno Nobel, A. Bello 2711 Of. 2401, L. Condes, Santiago, Chile george.cariz@la.dynonobel.com

⁵ Dyno Nobel, Zacatecas 120 Ote., C.L.Rosas, G.Pala., Dgo., Mexico gerardo.flores@la.dynonobel.com

Keywords: Explosives. Seismic acquisition. Seismic Sources

Abstract: *Explosive Test used in seismic prospecting*

Repsol-YPF, WesternGeco Argentina and Dyno Nobel have performed explosive tests in Argentina to assess the explosives denominated: dBX and Cut to Fit (CTF), both manufactured by Dyno Nobel in U.S.A. (dBX design was shared between WesternGeco and Dyno Nobel). Currently the explosive used in Argentina's seismic groups is the Booster I-1000 (from Austin Powder Argentina) and it was used as a reference.

The dBX produces improved seismic energy transfer per volume unit over conventional explosives as well as an improved signal-to-noise ratio and these characteristics will be evaluated in this article. CTF seems to eliminate the possibility of accidents almost completely (accidents with explosives are generally fatal); therefore, Repsol-YPF and WesternGeco are willing to accept the CTF system provided it does not impair the quality of the acquired seismic data. In turn, the tests should demonstrate that the surface detonator and the explosive charge distributed from the cord at the surface to the Geoprime do not mask seismic data and that the introduced time delays remain constant and can be calculated.

INTRODUCCION

Los explosivos se han empleado como fuente de energía en los trabajos de prospección sísmica desde prácticamente el inicio de esta actividad. En este sentido se han desarrollado diferentes tipos de explosivos que ofrecen ventajas en varios aspectos del método. Un primer aspecto es la necesidad de hacer más segura la operación y reducir por ejemplo el riesgo que representan las cargas que por no haber sido explotadas quedan en el terreno como un pasivo ambiental. Un segundo aspecto es mejorar la calidad de información sísmica, esto es lograr una mejor relación señal ruido. Por ultimo todo esto debe de hacerse a un costo que sea razonable sobre todo teniendo en cuenta que las operaciones sísmicas empleando explosivos son usualmente más onerosas que las realizadas con otro tipo de fuente. En este sentido Repsol-YPF, WesternGeco Argentina y Dyno Nobel realizaron en la provincia de Neuquén un ensayo de diferentes tipos de explosivos sobre una mini línea 2D que permitió comparar a los mismos desde el punto de vista de la operación en general, la seguridad, la calidad del dato y el costo. El presente trabajo describe los resultados de la comparación efectuada desde los puntos de vista antes mencionados.

EXPLOSIVOS A COMPARAR

Las características principales de los explosivos empleados se describen a continuación:

dBX®

Este explosivo es producto de un desarrollo conjunto de WesternGeco y Dyno Nobel y posiblemente es el único explosivo diseñado específicamente para satisfacer las necesidades sísmicas.

La experiencia de WesternGeco en esta actividad y Dyno Nobel en la fabricación de explosivos, se juntaron para obtener una composición química explosiva, sensible al detonador sísmico que además posee una alta densidad, alta energía, de buena velocidad de detonación y un volumen de gas extraordinariamente bajo. Con esto el **dBX®** produce una mayor transferencia de energía sísmica por unidad de volumen que cualquier otro explosivo, mejorando considerablemente la relación señal / ruido.

El conocimiento en la naturaleza de la detonación en el **dBX[®]** y su reacción sobre las partículas del terreno al cual se acopla, permitió predecir y luego medir la respuesta sísmica sobre partículas del terreno lejanas (far-field reaction)

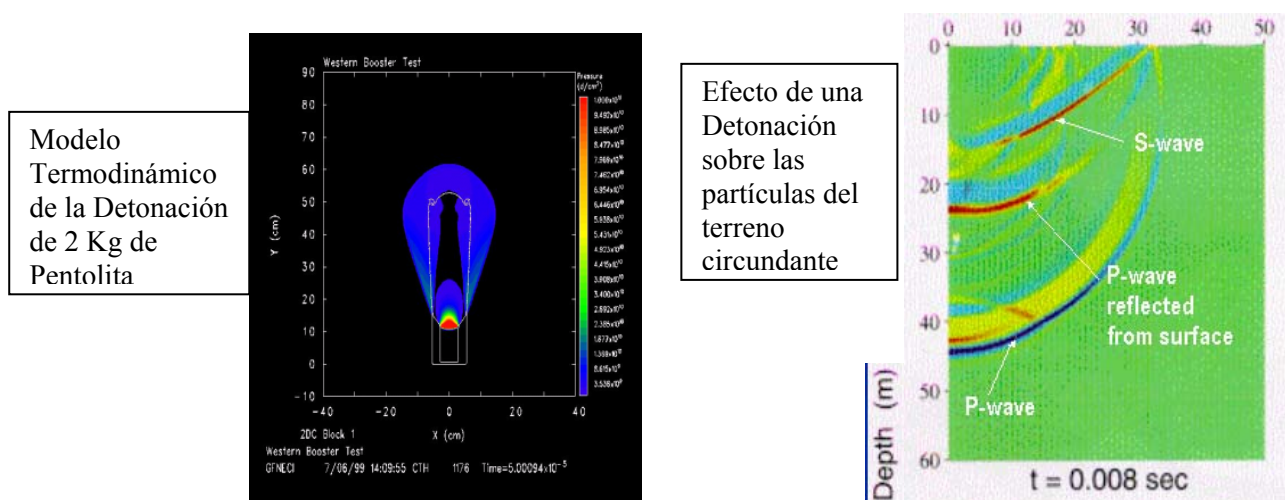


Figura 1, estudios previos realizados por WesternGeco y Dyno Nobel para desarrollar el **dBX[®]**

A diferencia de otros productos explosivos sísmicos, el **dBX[®]** está compuesto por sales explosivas higroscópicas por lo que en presencia de agua se diluyen y disocian. Esta composición única (Etileno Glicol) y su envase especialmente diseñado (disco de auto-desarmado) proveen de un mecanismo que finalmente desensibilizara la carga en pozos con agua.

El mecanismo de auto-desarmado consiste en la corrosión de un disco metálico, ubicado en un extremo del cartucho. Una vez roto el disco, el agua ingresa y el material explosivo comienza el proceso de dilución en forma progresiva hasta dejar la carga inerte. Solo quedará el fulminante como “carga viva” en el pozo. El proceso de oxidación del disco metálico puede llevar de 20 a 24 meses dependiendo de la calidad del agua a la cual este expuesto, la salinidad ayuda a la oxidación y al proceso de auto desarmado.

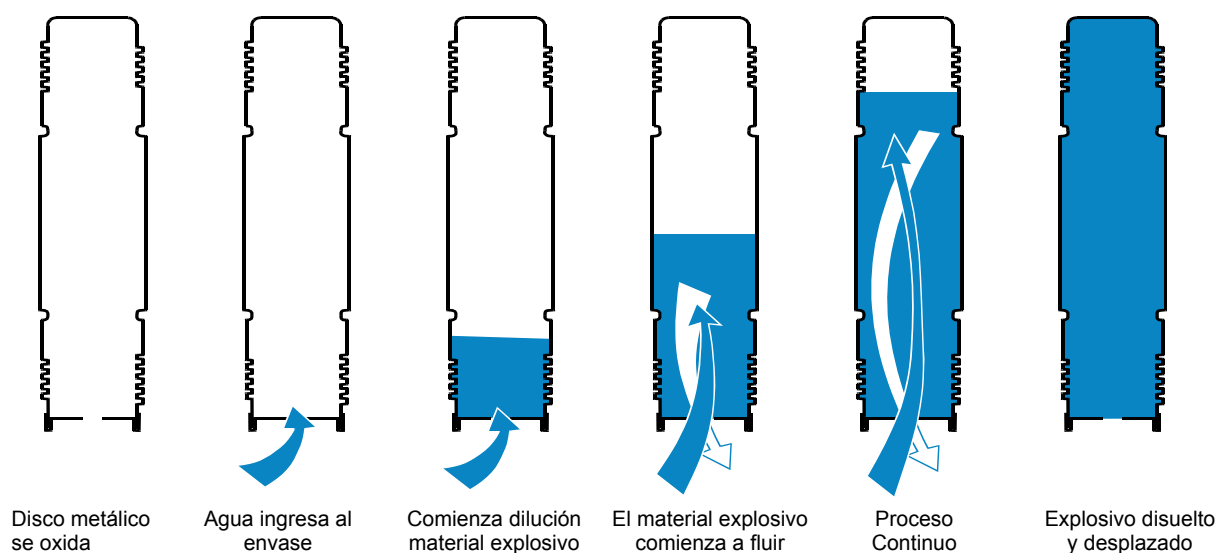


Figura 2, Secuencia de auto-desarmado del **dBX[®]**.

El auto-desarmado por dilución es un proceso efectivo, pero tiene el inconveniente de que los compuestos químicos no son biodegradables y por lo tanto no se transforman sino que solo se diluyen con el agua y se mezclan con el terreno.

Nombre Producto	Tipo Carga Explosiva	Presentación (grs)	Velocidad Det. (mt/seg)	Presión Det. (kbars)	Diámetro (mm)	Densidad (gr/cc)	Volumen (moles / Kg.)
dBX®	sal Explosiva	1000 2000	5500	200	57	1.72	18.6

Figura 3, Características Físico-Químicas del dBX®.

Cut to Fit (CTF)

A diferencia del dBX®, el CTF es un sistema de disparo desarrollado para utilizar en trabajos de exploración Sísmica.

Una carga de Pentolita GEOprime® debidamente adaptada para ser disparada por un Cordón Detonante GEOSEIS® al cual se conecta mediante un Ancla especial. El Ancla no solo permite conectar la cantidad de Cordón necesaria para iniciar al GEOprime®, sino que permite a su vez que el Cordón sostenga y permita introducir la Pentolita dentro del pozo. Sus cuatro componentes se muestran en la figura 4.



Pentolita GEOprime®
Superficie



Ancla Plástica



Cordón detonante



Detonador de

Figura 4, Componentes del sistema CTF

Pentolita GEOprime®: Los cartuchos de GEOprime® están compuestos por Pentolita nutrientes y microorganismos naturales que son directamente colocados en el Booster sísmico GEOprime® durante el proceso de fabricación.

Cuando el cartucho es sumergido en agua, los microorganismos se vuelven activos y comienzan una biodegradación lenta de la Pentolita. Con este proceso los componentes del cartucho perderán su calidad de explosivos y con el paso del tiempo se mineralizan.

Biotransformación: Es el proceso, que utiliza microorganismos naturales que son capaces de transformar los elementos de un compuesto explosivo en compuestos NO explosivos.

Mineralización: Este proceso toma los compuestos NO explosivos y los transforma en compuestos básicos posteriores como CO₂, H₂O y N.

A diferencia del dBX® los cartuchos de GEOprime® no son sellados para permitir el ingreso de agua y con ello se active el proceso de biodegradación. Este proceso dependerá de las condiciones del pozo en que se encuentre colocado el cartucho ya que el proceso puede acelerarse o retrasarse en su efectividad con salinidad, temperatura, alcalinidad, etc.

La Pentolita GEOprime®, cuenta con un alojamiento debidamente adaptado para recibir el ancla plástica.

Ancla Plástica GEOSEIS®: Es un diseño especial, que aglomera la cantidad de cordón detonante necesario para producir la energía suficiente y asegurar la iniciación de la Pentolita GEOprime®.

El diseño especial del ancla no solo introduce la cantidad necesaria de cordón para iniciar el Booster, sino que además permite asegurar que el cordón sostenga la carga al introducirla dentro del pozo.

Cordón Detonante GEOSEIS®: Es fuerte, flexible, resistente a la abrasión, calor y frío extremo. El cordón detonante tiene una resistencia superior a la tensión y fricción que el cable eléctrico duplex que se utiliza en los detonadores (resistencia nominal del Cordón a la tensión: 54 Kg) Este cordón tiene la función de

transmitir la señal de iniciación del detonador al cartucho explosivo a través de un pequeño núcleo explosivo. Su velocidad de detonación es de 6,400 m/seg, lo que significaría un retraso en la detonación del cartucho explosivo de 1 ms cada 6.4 metros. Este retraso es uniforme y constante en el cordón detonante por lo que puede ser identificado y corregido.

Detonador de Superficie GEOSEIS®: El detonador de superficie GEOSEIS® es un iniciador de Fuerza Grado 2 (los detonadores convencionales son de Fuerza Grado 8-12) el cual fue diseñado específicamente para utilizarse en el sistema CTF. Este detonador tiene la potencia suficiente para iniciar el cordón detonante mas, por seguridad, no tiene potencia para iniciar un explosivo comercial sensible a fulminante # 6. El detonador se conecta al cordón solo cuando el pozo va a ser detonado, por lo que en esta operación solo se ven involucrados un tramo muy pequeño de cordón y el fulminante de baja potencia

La principal característica del sistema CTF es que al momento de cargar no se manejan explosivos e iniciadores al mismo tiempo, lo cual disminuye casi por completo los posibles daños a un operador en caso de una detonación accidental.

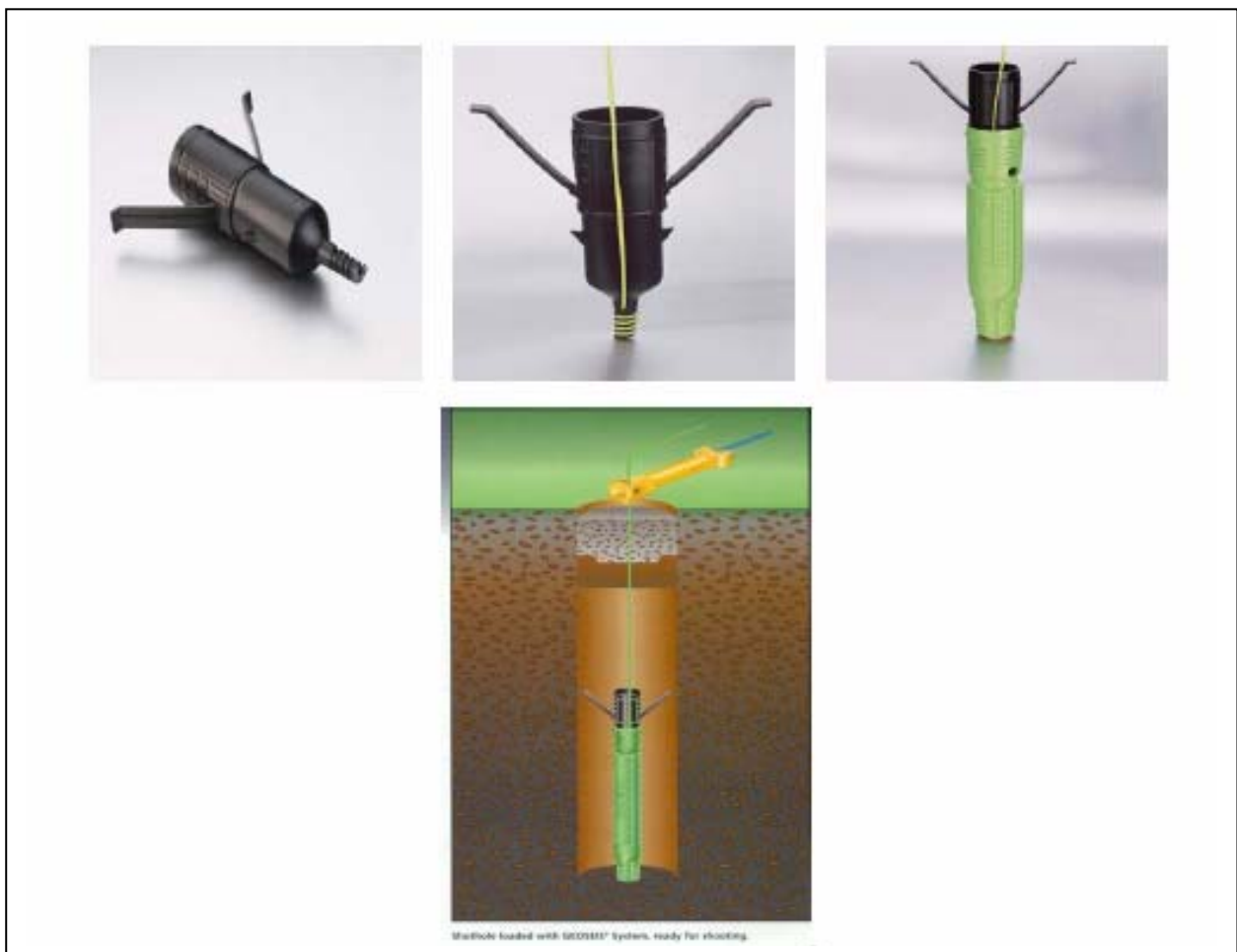


Figura 5, Proceso de armado del sistema CTF

El Cargador de pozos simplemente aglomera el cordón detonante GEOSEIS® en el acumulador de cordón del ancla GEOSEIS® y esta es insertada en el Booster GEOprime®.

Después el Booster es colocado en el fondo del pozo y el cordón detonante es cortado en superficie. El pozo es tapado y el cordón es enterrado en el terreno (La carga quedó enterrada en el fondo del pozo, sin haber sido cebada con un detonador eléctrico, evitando todo riesgo de accidente)

Cuando es tiempo para el disparo, el Disparador recupera el cordón y conecta el detonador de superficie GEOSEIS®. Los cables del detonador son conectados a la línea de disparo y esta al Blaster. Si el cordón detonante no se inicia, el Disparador tiene la oportunidad de conectar otro detonador GEOSEIS® a la línea

descendente del cordón y redisparar el pozo. Esto reduce considerablemente la posibilidad de dejar pozos vivos o fallados.

Nombre Producto	Tipo Carga Explosiva	Presentación (grs)	Velocidad Det. (mt/seg)	Presión Det. (kbars)	Diámetro (mm)	Densidad (gr/cc)	Volumen (moles / kg)
GEOprime®	Pentolita	1000 2000	7900	250	57	1.6	29.4
Nombre Producto	Tipo Carga Explosiva	Presentación (granos / pie)	Velocidad Det. (mt / seg)	Metros por Carrete	Peso Carrete (Kg.)		
GEOSEIS®	Cordón Detonante	10	6400	915	6.8		
Nombre Producto	Tipo Carga Explosiva	Potencia	Velocidad Det. (mt/seg)	Metros por Carrete	Piezas Caja (Unid)		
GEOSEIS®	Detonador	2	N/A	N/A	300		

Figura 6, Características Físico-Químicas del CTF:

Pentolita Convencional I-1000

Básicamente se trata de un compuesto similar al Geoprime pero con mayor proporción de TNT (Trinitrotolueno y menor de PETN (Tetranitrato de Pentaeritriol)

$$\text{PETN} + \text{TNT} = \text{Pentolita}$$

Las Pentolitas con mejores resultados para la sismica son las pentolitas puras y de proporción 62 PETN/ 38 TNT (CTF) Esta formula es la mejor pero también la mas cara en costo (El TNT es mas barato que el PETN y de menor velocidad que este) Al momento en que introducimos compuestos diferentes o diluimos esta proporción se cambian las características de sensibilidad, velocidad de detonación, densidad, volumen de gases a generar y presión de detonación.

La Pentolita I-1000 es fabricada en Argentina por Austin Powder (Rafaela, Provincia de Santa Fe) y en su composición posee una mayor proporción de TNT. Por ambas razones, fabricada en Argentina con menor proporción de PETN, su costo por Kg debería ser sensiblemente menor que el CTF. Hasta ahora es el tipo de explosivo (Booster I-1000) que mas se esta utilizando como fuente de energía sísmica impulsiva.

Esta Pentolita no es ni bioremediable ni biodegradable por lo tanto las cargas no explotadas dentro del pozo deben sufrir un proceso de mitigación de muy baja eficacia. (explotar carga cercana a la yaciente para destruir el explosivo ó tapiar con hormigón 1m² sobre la superficie del pozo)

Producto	Tipo carga explosiva	Carga (gr)	Velocidad de detonación (m/seg)	Presión hidrostática de trabajo (kg/cm²)	Diámetro (mm)	Accesorios	Almacenaje
I - 1000	Pentolita	1000	7000	20	60	Si	Ilimitado

Figura 7, Características Físico-Químicas del Booster I-1000

Este tipo de Pentolita, por su composición alta en TNT, es menos sensible a la iniciación proveniente del detonador por lo que se pueden llegar a presentar problemas de fallas en disparos, principalmente en ambientes muy complicados.

TEST DE EXPLOSIVOS DE CAÑADÓN AMARILLO

Repsol-YPF, Dyno Nobel y WesternGeco programaron la realización de las Pruebas de los explosivos mencionados, para la finalización de la adquisición del Proyecto 2D de Cañadón Amarillo-Repsol YPF/WesternGeco (Provincia de Mendoza) a mediados de Diciembre de 2004. La Línea normal de producción N° 4 de Cañadón Amarillo fue explotada en su totalidad con pozos cargados con 4 Kg de Pentolita I-1000 a 10 metros de profundidad, siendo la distancia entre pozos de 25 metros. A ambos lados de

la línea 4, a 5m de distancia se perforaron las Líneas 41 y 42 en las que se emplearon los otros tipos de explosivos a comparar. En estas dos líneas se cargaron a igual profundidad y con el mismo tamaño de carga, 30 pozos de DBX (Línea 42) y 30 pozos de CTF (Línea 41) distanciados cada 75 metros (cada 3 pozos de I-1000, se explotaba uno de DBX y CTF) De tal manera que cada 75 metros existen datos comparativos con los tres tipos de explosivos. En el centro del tendido, se realizaron pruebas adicionales de carga y profundidad con cada explosivo con 1 y 2 Kg a 10 metros de profundidad y 1, 2 y 4 Kg a 6 metros de profundidad de pozo. La disposición en forma de línea 2D permitió además generar secciones sumadas para una mejor comparación de las respuestas obtenida.

Para la registración de las Líneas Sísmicas 41 y 42, se empleo el mismo Sismógrafo I/O System II con los mismos parámetros con que se registró la Línea de Producción N° 4. El tendido fue fijo de 201 Canales para todos los puntos de tiro. Para todos los canales se trabajo con el preamplificador K-Gain 48dB y filtro antialias $\frac{1}{2}$ Nyquist (125 Hz) Minimum Phase. El sistema de disparo empleado fue el Pelton ShotPro.

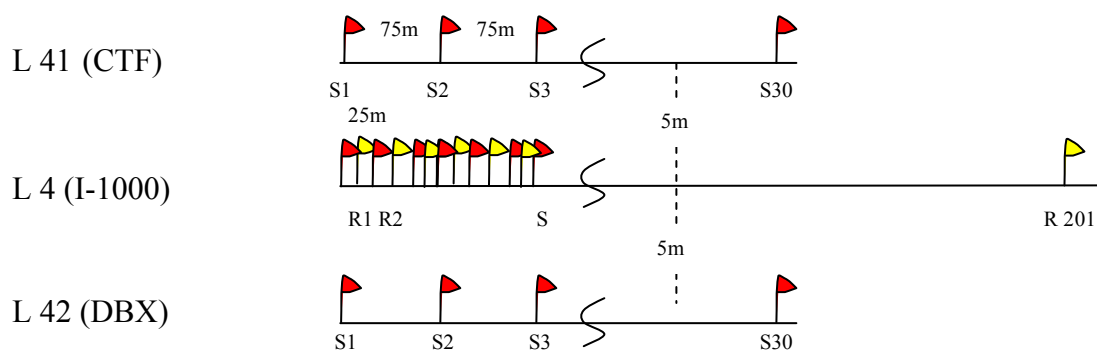


Figura 8, Diagrama de Estaciones: Receptoras  y Fuentes 

CARACTERISTICAS OPERATIVAS DE LAS PRUEBAS DE CAÑADÓN AMARILLO

Días previos al inicio de las pruebas, el personal de WesternGeco del Grupo 1799, afectado a estas operaciones, fue entrenado por personal de Dyno Nobel en el armado-cargado de pozo con dBX y especialmente con CTF contando con envases de cargas explosivas sin contenido, para una buena introducción práctica efectuada en una sala-meeting del Grupo sísmico. También Dyno Nobel supervisó las tareas de cargado y detonación de las pruebas en la línea de operación. El personal mencionado se expresó muy confortable en el empleo del CTF, comprendiendo la sustancial mitigación del riesgo en el manipuleo de explosivos que este sistema les brinda. Todos los pozos cargados explotaron durante la adquisición sísmica.

También se comprobó que el armado y cargado de CTF no presenta demoras de tiempo con respecto al sistema convencional, es mas, estos tiempos se disminuyen sensiblemente al simplificarse el armado-cargado de pozos al no tener que conectar dos detonadores en serie eléctrica acoplados a la carga explosiva y tener que atar a dicha carga un cable especial para sostenerla durante su bajada al pozo (ver procedimiento de armado del CTF).

La capa superficial perforada fue muy variable, desde roca volcánica, arcillas, relleno de piedras-arena y hasta “cavernas” se encontraron en los pases de los pozos durante su perforación. Por lo tanto se esperaron obtener “tiempos de pozos” que mostraran significativas variaciones. Sin embargo, aún para similar posición topográfica, carga y profundidad, se midieron diferencias de tiempos importantes entre los tres tipos de explosivos.

Debido a esta fuerte topografía y “wheathering” se presentó una complicación para el Sistema CTF. Para que la explosión del Detonador y Cordón no afecte la medida del tiempo de pozo fue necesario separar al Geófono de Tiempo de Pozo de la boca del mismo. Esto introduce una “diferencia de altitud” entre la boca de pozo y el geófono y una trayectoria no vertical que debe ser corregida (figura 9). Sin embargo aun considerando esta corrección sobre 36 pozos adquiridos con CTF, 12 de ellos no pudieron ser interpretados apropiadamente y no fue posible determinar la naturaleza de las anomalías en esta lectura en el sistema de disparo. Los registros sísmicos no mostraron retrasos en tiempo que pudieran correlacionarse con lo medido por el sistema de disparo.

En los gráficos adjuntos, se muestran los diferentes tipos de señal captada por el Geófono de Pozo para CTF (UH: ubicado a 10 metros de distancia como ya hemos visto) Ejemplos de estas lecturas se muestran en la figura 10:

- (a) Tiempo UH corregido correcto, amplitud buena y comparable con el I-1000 y DBX
- (b) La amplitud del UH es muy baja y la polaridad resulta inversa a la normal (first break?)
- (c) Pese a que la amplitud de señal es baja, el tiempo UH marcado es coherente y fue corregido.
- (d) La amplitud del UH es muy baja y el tiempo es totalmente anómalo.

Con respecto a estos inconvenientes con los “tiempos de pozos” con CTF, se presume que la distancia de 10 metros de separación entre la boca del pozo y el geófono y las condiciones superficiales del terreno en Cañadón Amarillo, hacen que la señal recibida por el ShotPro como “uphole time” sea de muy baja amplitud y con un retardo suficiente como para que en alguna situación los primeros quiebres detectados como primer arribo no corresponda al arribo directo desde la carga CTF.

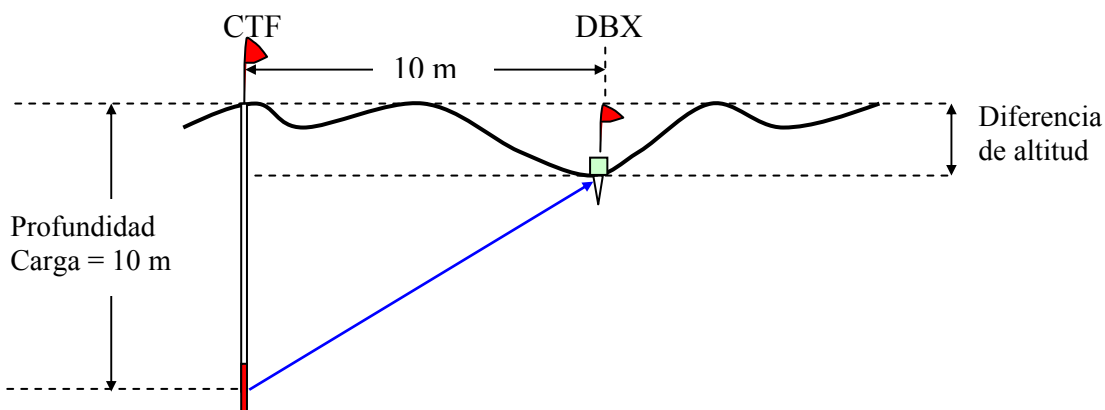
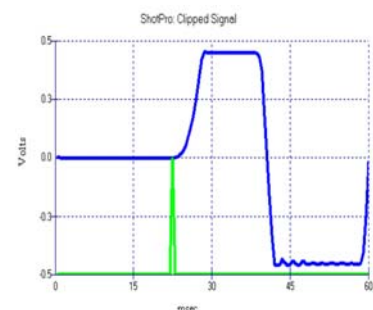
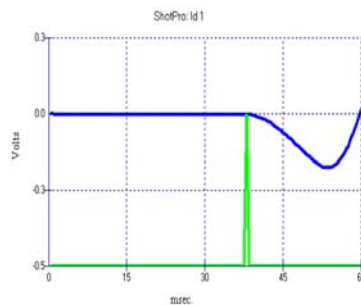


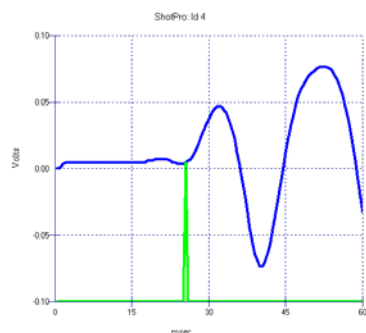
Figura 9, CTF cargado a 10 metros y Geófono separado 10 metros



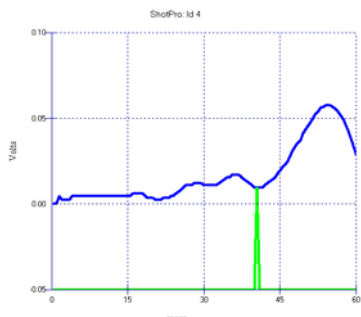
(a) Gráfico ShotPro Normal (todo tipo)



(b) Anómalo: en tiempo, amplitud y polaridad (CTF)



(c), Tiempo correcto, baja amplitud de señal



(d), Tiempo incorrecto, baja amplitud de señal

Figura 10, Ejemplos de tiempos de pozo medidos en el sistema CTF

PROCESAMIENTO DE LAS PRUEBAS DE CAÑADÓN AMARILLO

Luego de un pre-procesamiento en el Grupo 1799 de WesternGeco, donde se obtuvieron las primeras apreciaciones sobre la respuesta sísmica de los explosivos bajo ensayo, se procedió a un procesamiento definitivo en el Centro de Procesamientos de WesternGeco en Buenos Aires, con el fin de obtener datos corregidos y sumados “stacks” idénticos para los 3 tipos de explosivos. Las secciones resultantes se muestran en las figuras 11 a 13. La secuencia de proceso empleada fue la siguiente:

1. Armado de geometría
2. Corrección por divergencia esférica
3. Deconvolución traza por traza
4. Estáticas de Refracción
5. Ordenamiento por CMP
6. Muestreo de velocidades
7. NMO
8. Enmudecimiento frontal
9. Suma
10. Estáticas residuales
11. Atenuación de ruido aleatorio
12. Filtro de frecuencias
13. AGC 500 ms

Las tres secciones son comparables entre si y se pueden destacar entre ellas las siguientes diferencias, utilizando el Booster I-1000 como referencia:

- El CTF parece aportar mas continuidad a los horizontes que el Booster, pero este último parece aportar mayor energía a los horizontes más profundos,
- La sección final mostrada como Línea 42, fue registrada con DBX y en general muestra mayor continuidad en los horizontes sísmicos que con las cargas anteriores, tanto para horizontes someros como para horizontes profundos. Los niveles mas profundos que se observaban en la línea adquirida con el Booster I-1000 se ven con mayor claridad. En la parte ruidosa en el centro de la línea la imagen obtenida por dBX es aun mejor que la de CTF.

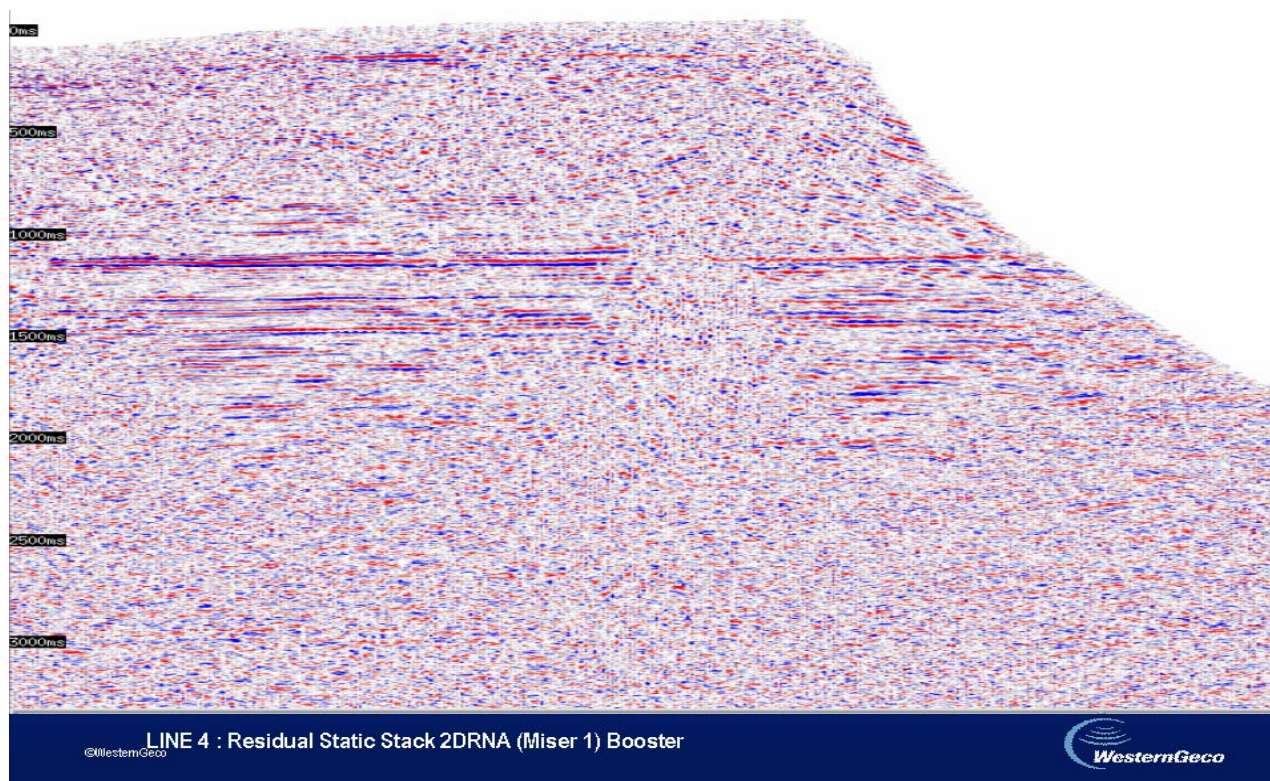


Figura 11, Sección Sísmica utilizando explosivo convencional (Booster I-1000)

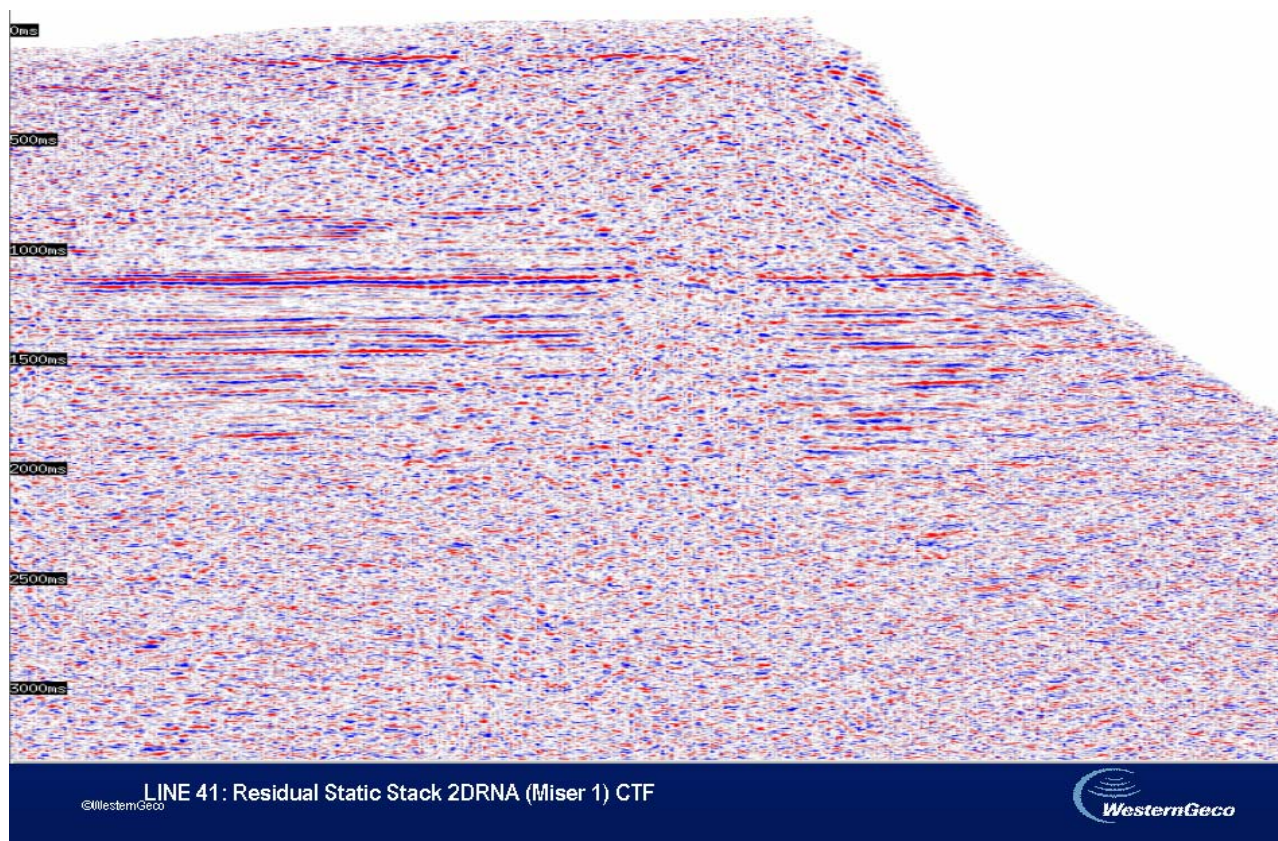


Figura 12, Sección Sísmica utilizando Cut to Fit como fuente de energía

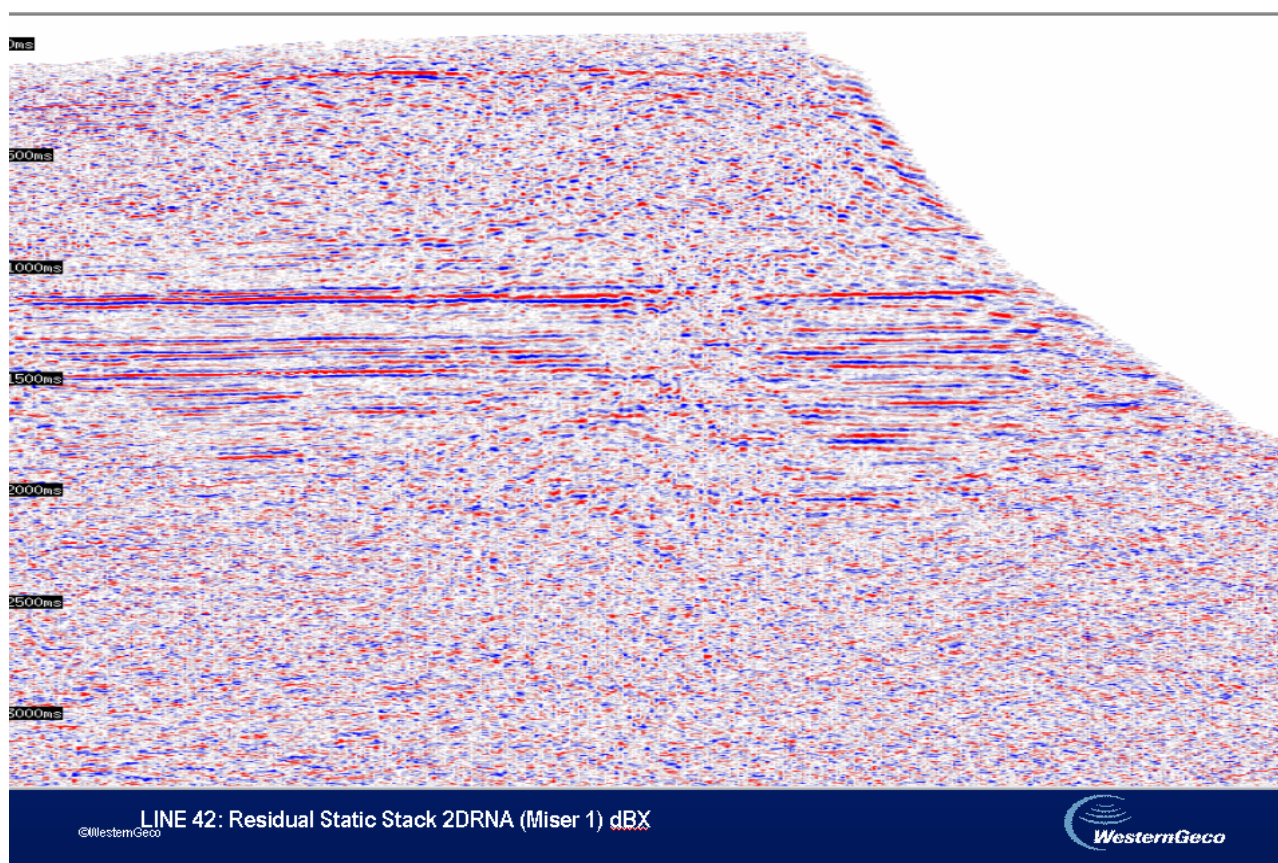


Figura 13, Sección Sísmica utilizando dBX como fuente de energía

PROCESAMIENTO A NIVEL DE REGISTROS INDIVIDUALES

Calidad de los registros

La calidad de los registros fue cambiante a lo largo del área reflejando las variaciones en las condiciones de la superficie y la capa meteorizada. Estos cambios en relación señal ruido fueron en muchos casos más evidentes que los cambios entre las distintas fuentes correspondientes a una misma estación (separadas únicamente 5m). El extremo de la línea con números de estación menores tuvo registros de mejor calidad y corresponde a las fuentes que quedaron cargadas principalmente en arcilla para los diferentes explosivos usados. Un ejemplo de 3 registros correspondientes a cada tipo de fuentes se muestra en la figura 14.

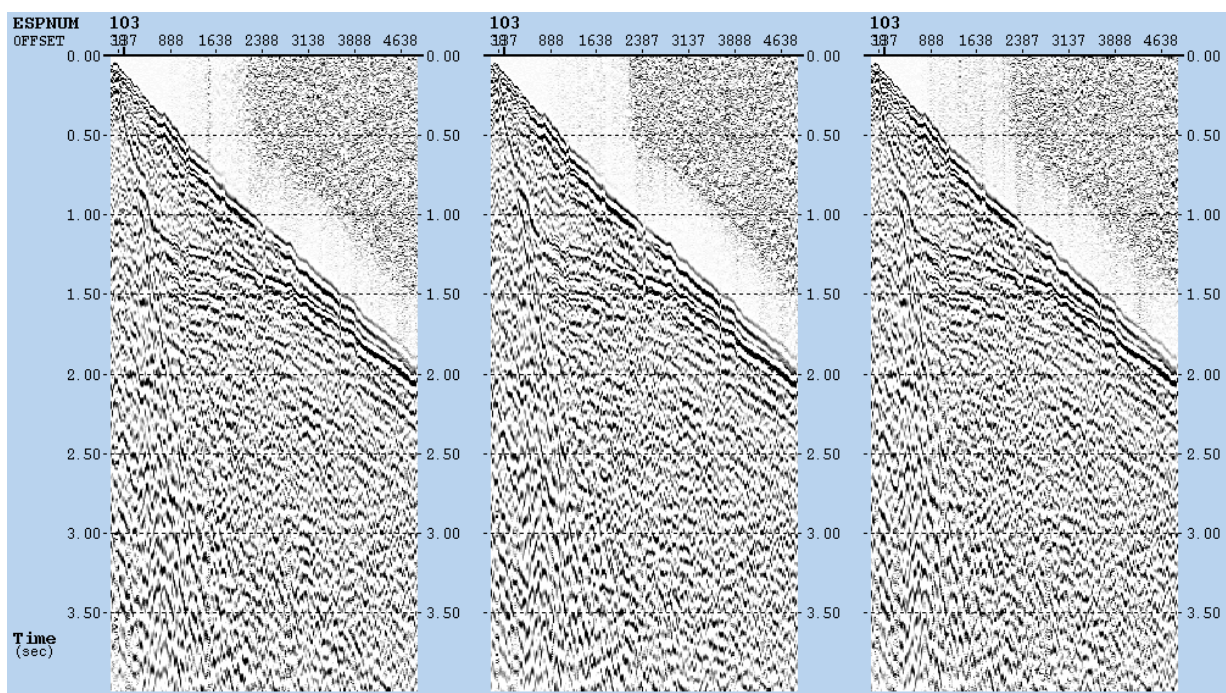


Figura 14, Registros correspondientes a Booster, CTF y dBX respectivamente

Comparación de registros

Se definieron a partir de los registros zonas de señal y de ruido generado por la fuente. Se calculó la croscorrelación entre cada traza de los registros sísmicos para los diferentes tipos de explosivos en una misma posición, dentro de las ventanas de señal y ruido previamente mencionadas. En la Figura 15 se muestra la función de croscorrelación promedio entre las tres fuentes para la ventana de señal. Excepto en algunos registros donde alguna de las fuentes no rindió adecuadamente, las croscorrelaciones tuvieron un máximo nítido en las cercanías del cero indicando que las trazas son de características similares tanto en la ventana de señal como en la de ruido. Es decir que el ruido generado por las fuentes en forma de ondas superficiales es similar para cada una de ellas no observándose una clara diferencia entre una y otra. Considerando el promedio de todas las croscorrelaciones calculadas entre registros de diferentes fuentes se encontró que la mejor correlación corresponde al dBX con el Booster, y la menor correspondió al dBX con el CTF.

Considerando los registros individuales se calculó la correlación entre las fuentes para una ventana en torno a los primeros arribos para estimar si existían adelantos o retrasos relativos entre cada tipo de fuente. No se detectó respecto de la ubicación del máximo de esta función un adelanto o retraso sistemático de una fuente respecto de la otra para todos los registros. Por su distribución errática los pequeños corrimientos menores a 5 ms podrían estar ligados a cambios en las condiciones del terreno. El comportamiento más errático correspondió al CTF donde 6 sobre 35 registros mostraron diferencias mayores a 5 ms de retraso o adelanto respecto de las otras dos fuentes, siendo más frecuentes los retrasos que los adelantos. Para el Booster y el dBX se observó este comportamiento de retraso o adelanto en un solo registro de los 35 comparados. Para estos casos de corrimientos importantes los mismos eran apreciables comparando directamente los registros de campo.

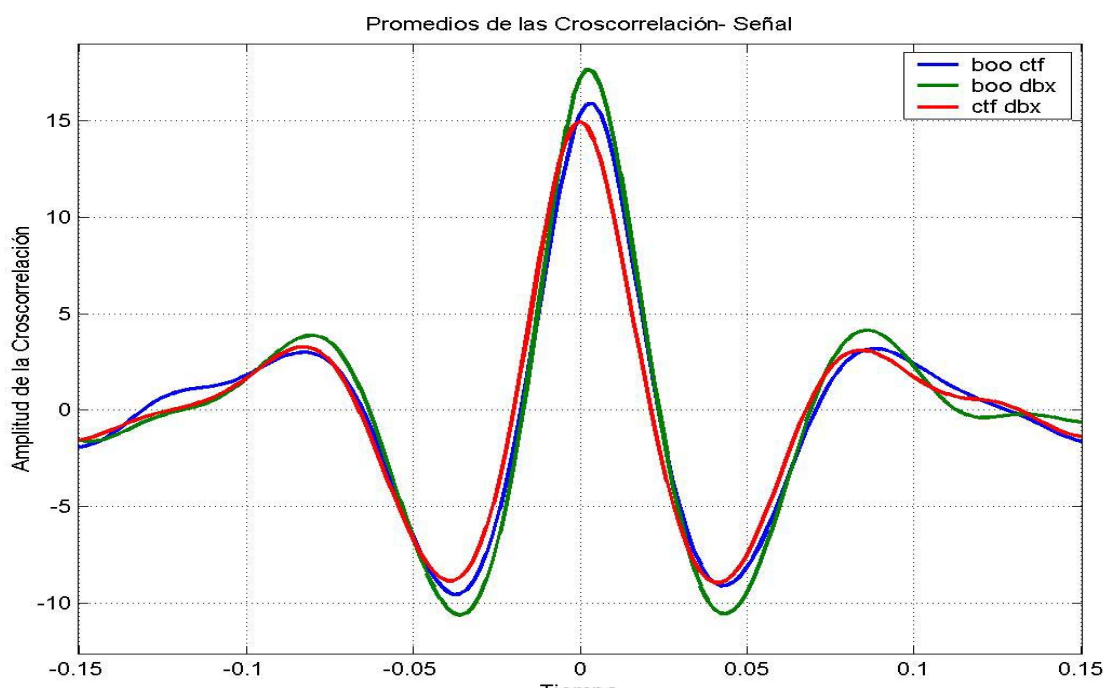


Figura 15, Promedio de las croscorelaciones en la ventana de señal

Energía de las trazas registradas.

Para cada registro individual de cada tipo de explosivos se comparó la energía de las trazas registradas calculando la suma de las amplitudes al cuadrado en las ventanas de señal y de ruido previamente definidas. Los valores obtenidos se muestran en la Figura 16. Sobre las 35 estaciones comparadas se obtuvo que en 32 oportunidades el DBX mostró mayor energía total que las otras dos fuentes (91% de los casos). Comparando las otras dos fuentes entre sí el Booster (BOO) y el CTF la situación fue de igualdad entre ambas resultando en 17 casos mayor el BOO que el CTF para la ventana de señal y 14 casos el BOO mayor que el CTF para el ruido. Desde el punto de vista de las amplitudes registradas para cada tipo de explosivo, y considerando el mismo tamaño y profundidad de carga, el DBX proporciona una mayor cantidad de energía sísmica que los otras dos fuentes, siendo las otras dos fuentes equivalentes desde este punto de vista. Esta mayor cantidad de energía es observada tanto en el ruido generado por la fuente como en la señal por lo que no es inmediata una mejora en la relación señal-ruido coherente, aunque si existirá una ventaja respecto del ruido aleatorio no asociado a la fuente.

Espectros de amplitud

La respuesta en frecuencia de los diferentes registros normalizada fue analizada sobre las ventanas de señal y de ruido. La respuesta promedio de todos los registros en la ventana de señal se muestra en la figura 17. Los espectros resultantes son similares entre si y entre altas y bajas frecuencias dentro de cada fuente observándose una leve diferencia a favor de los registros con DBX dado que en promedio una mayor cantidad de energía es inyectada en frecuencias intermedias (25 a 40 Hz) respecto de las frecuencias mas bajas que en el caso del CTF ubicándose el Booster en una posición intermedia muy cercana al dBX. La diferencia observada en el caso promedio es del orden de 3Db a favor del DBX. Comparando los datos en la ventana de ruido no se observan diferencias significativas en los espectros promedios normalizados. Es un resultado favorable para el dBX obtener un rango de frecuencias comparable o levemente mejor que los otros dos sistemas manteniendo o mejorando el ancho de banda.

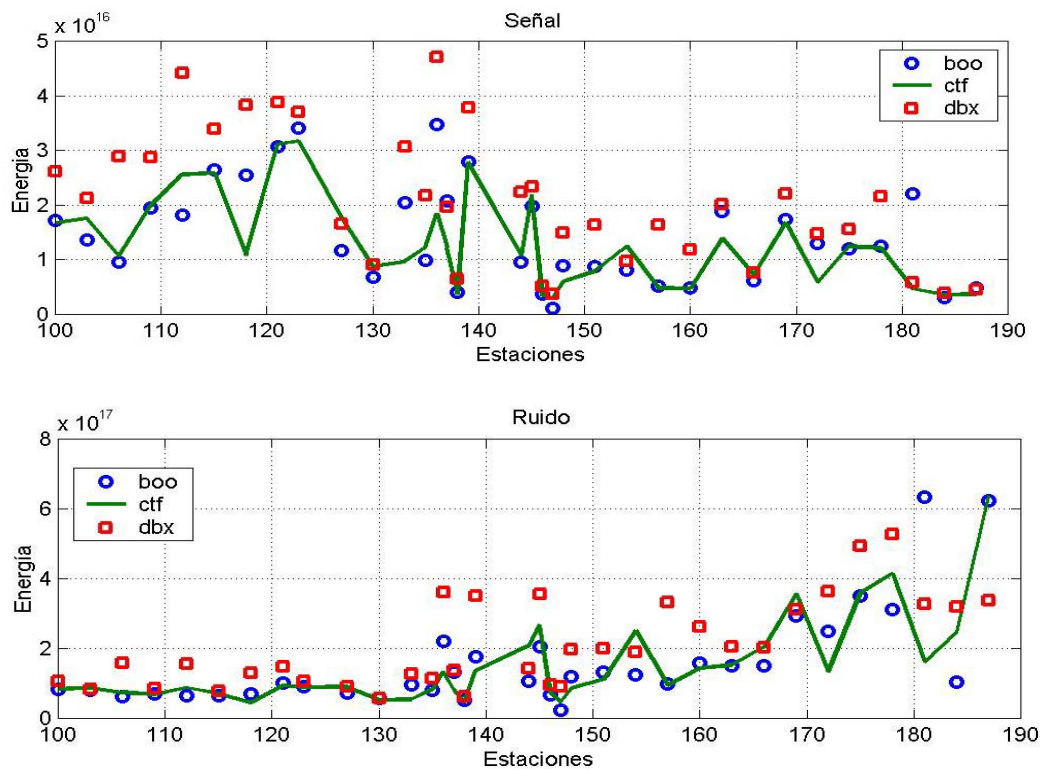


Figura 16, Suma de amplitudes al cuadrado en las ventanas de señal y de ruido. Nótese como el dBX esta en la mayoría de los casos por encima de las otras dos fuentes

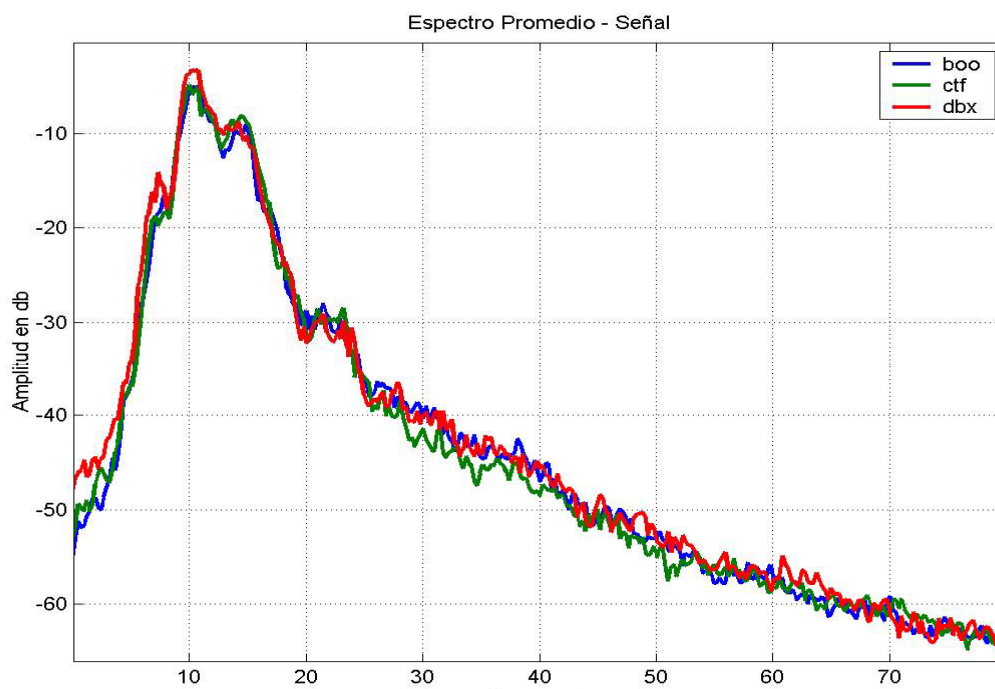


Figura 17, Espectro de amplitud ventana de señal

PRUEBAS ADICIONALES CON CUT TO FIT PARA LA DETERMINACION DEL TIEMPO DE POZO

Para tratar de despejar las dudas que surgieron con los valores obtenidos de los “tiempos de pozo” del sistema Cut to Fit, después del análisis de la prueba descrita, se realizó un nuevo conjunto de pruebas orientado a analizar las características de dichos tiempos en este sistema. En esta oportunidad la prueba se orientó a comparar tiempos leídos a intervalos regulares de 1 metro por geófonos conectados a un sistema de adquisición sísmica “I/O System II” (sismógrafo) con los obtenidos por geófonos del mismo tipo conectados al “blaster del ShotPro”.

El diseño de la prueba que se muestra en la figura 18 consistió en 11 pozos perforados a 10 metros de profundidad, separados a 5 m entre sí y cargados con 4 Kg de explosivo Cut to Fit. A ambos lados de los mismos se colocaron 11 “geófonos de pozo” con una separación de 1 m, continuando el tendido con 10 ristas de 12 geófonos cada una separadas 12,5 m simulando un tendido 2-D. Tanto los “geófonos de pozo” como las “ristas”, fueron conectados a canales del sismógrafo mediante sus cables.

Por otra parte al explotar cada uno de los pozos, se midió el “tiempo de pozo” a través del ShotPro, alejando su propio geófono 1 m de la boca del pozo en cada explosión y haciéndolo coincidir en cada oportunidad, con el geófono conectado al sismógrafo, en la distancia correspondiente a cada medida. De esta manera se compararon los valores leídos por ambos instrumentos.

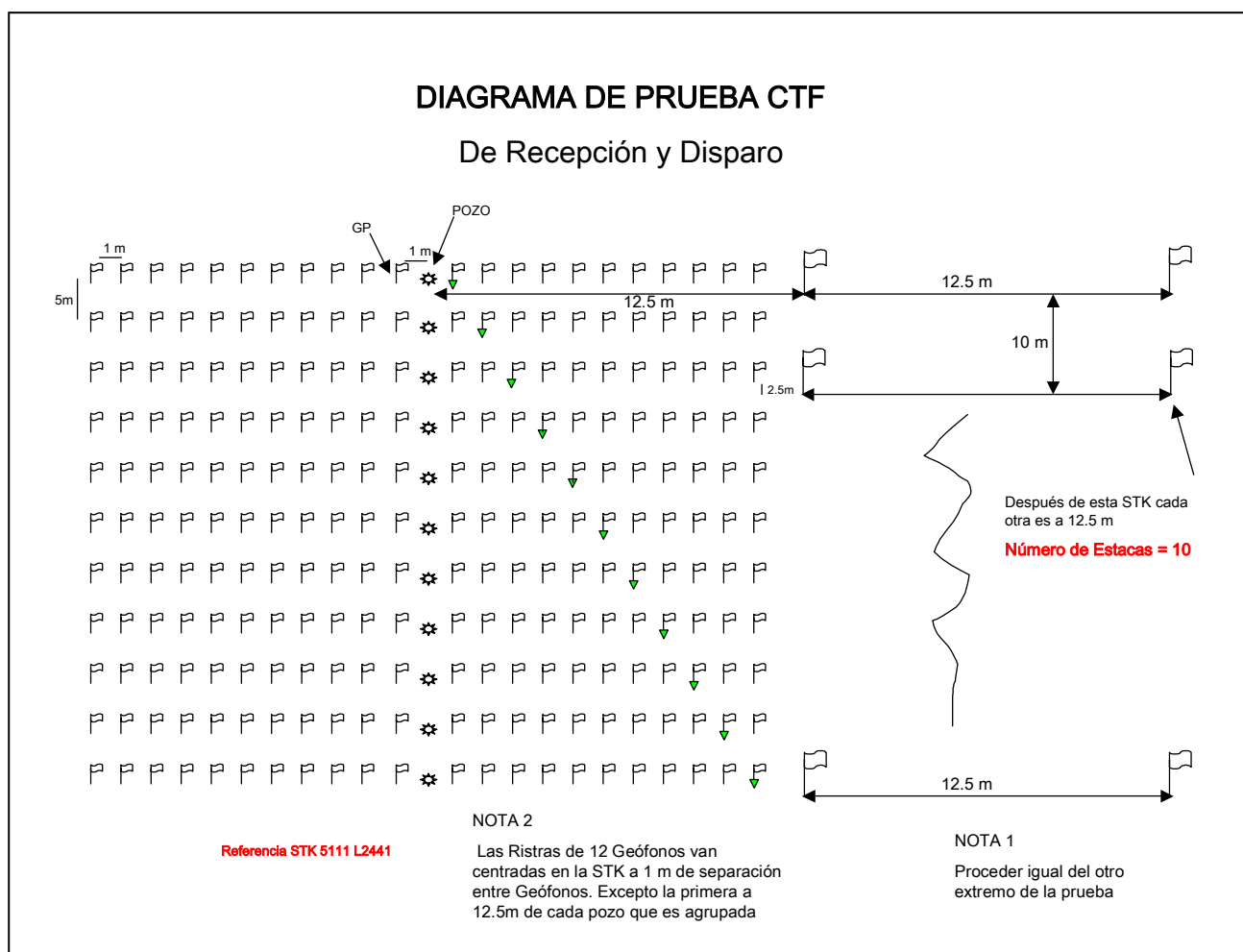


Figura 18 Diagrama de la prueba diseñada para la determinación de los tiempos de pozo con el sistema CTF

Además dos de esos pozos se recargaron, pero esta vez, a una profundidad de 15 m, uno de ellos con CTF y el otro con Booster I-1000, obteniéndose registros con la misma configuración del tendido.

Análisis de los tiempos obtenidos en la prueba

Este análisis se basa en la comparación de los tiempos leídos en los primeros arribos (FB: First Breaks) recibidos en el sismógrafo, con los que fueron leídos desde el ShotPro como “tiempos de pozo” (UHT). (Ver tabla I).

									LADO DERECHO										LADO IZQUIERDO										
FF	GP(Distance)	CHARGE	DEPTH	UHT	FB Channel GP Correction - 11ms	FB Offset 10	GP Channel	SP (shot-pro)	FB 1m	FB 2m	FB 3m	FB 4m	FB 5m	FB 6m	FB 7m	FB 8m	FB 9m	FB 10m	FB 1m	FB 2m	FB 3m	FB 4m	FB 5m	FB 6m	FB 7m	FB 8m	FB 9m	FB 10m	
13	1m	CTF 4Kg	10	5.5	3	13	22	31-32	3	7	9	11	13	11	13	15	13	13	1	3	5	5	7	7	9	9	9	9	11
17	2m	CTF 4Kg	10	9.0	5	15	23	33-34	3	5	9	11	11	13	15	15	15	15	3	3	5	5	9	9	13	15	15	15	15
20	3m	CTF 4Kg	10	15.0	9	15	24	35-36	5	7	9	11	13	15	15	15	15	15	5	7	7	7	9	11	11	11	13	15	
22	4m	CTF 4Kg	10	12.0	11	13	25	37-38	7	9	9	11	13	13	13	13	13	13	3	5	7	9	9	9	11	11	13	15	
25	5m	CTF 4Kg	10	12.5	11	13	26	39-40	3	5	7	9	11	13	13	13	13	13	3	5	5	7	9	9	9	11	11	13	13
27	6m	CTF 4Kg	10	12.5	11	13	27	41-42	3	5	7	9	11	11	11	13	13	13	3	5	5	7	9	11	13	13	13	15	
29	7m	CTF 4Kg	10	12.0	11	13	28	43-44	3	5	7	11	11	11	11	13	13	13	3	5	7	7	9	11	11	13	13	13	
32	8m	CTF 4Kg	10	11.5	11	11	29	47-48	3	5	7	9	9	9	9	11	11	11	5	7	9	11	11	11	13	13	13	13	
34	9m	CTF 4Kg	10	14.5	13	13	30	49-50	5	7	11	11	13	13	13	13	13	13	3	7	7	9	11	11	11	13	13	15	
36	10m	CTF 4Kg	10	14.5	13	13	31	51-52	3	5	9	11	11	13	13	13	13	13	3	9	7	9	11	11	11	11	13	13	
52	5m	4Kg(CTF)	10	13.5	11	13	26	87-88	3	5	5	7	9	11	11	11	13	13	5	11	13	15	15	15	15	17	17	17	
53	10.3m	2Kg(CTF)	10	15.5	13	13	21	89-90	7	7	9	9	11	11	11	13	13	13	7	9	11	13	15	17	17	17	17	17	
54	7.4m	2Kg(CTF)	10	13.5	11	13	18	91-92	7	7	7	9	11	11	13	13	13	13	7	9	15	13	15	15	15	17	17	19	
55	3.9m	2Kg(CTF)	10	14.5	9	13	15	93-94	7	7	7	9	9	11	11	13	13	13	9	13	13	15	15	15	17	17	17	19	
56	2m	2Kg(CTF)	10	15.5	7	15	13	95-96	7	7	9	9	9	11	13	13	13	15	7	11	11	17	17	17	17	17	17	19	
57	3m	2Kg(CTF)	10	17.0	13	15	14	97-98	9	11	13	15	15	15	15	15	15	15	11	13	13	17	17	19	19	19	19	19	
58	15m	3Kg(CTF)	10	NF	15	15	57	99-100	7	9	9	11	11	11	13	13	13	15	11	13	13	15	15	15	15	15	15	17	
59	3m	6Kg(CTF)	15	15.0	9	15	44	101-102	9	9	9	11	13	13	15	15	15	15	13	13	15	19	19	19	19	19	19	19	
60	3m	6Kg(Booster)	15	14.5	15	17	44	103-104	15	15	15	15	15	15	15	15	15	17	17	15	15	15	15	15	15	15	15	17	

Tabla I

Tomando como referencia el registro obtenido con el pozo de 15 m cargado con 6Kg de Booster I-1000 y con el geófono de pozo ubicado a 3 m (ver figura 19) se observa que existe una importante linealidad en los quiebres de los primeros arribos en ambos lados del pozo.

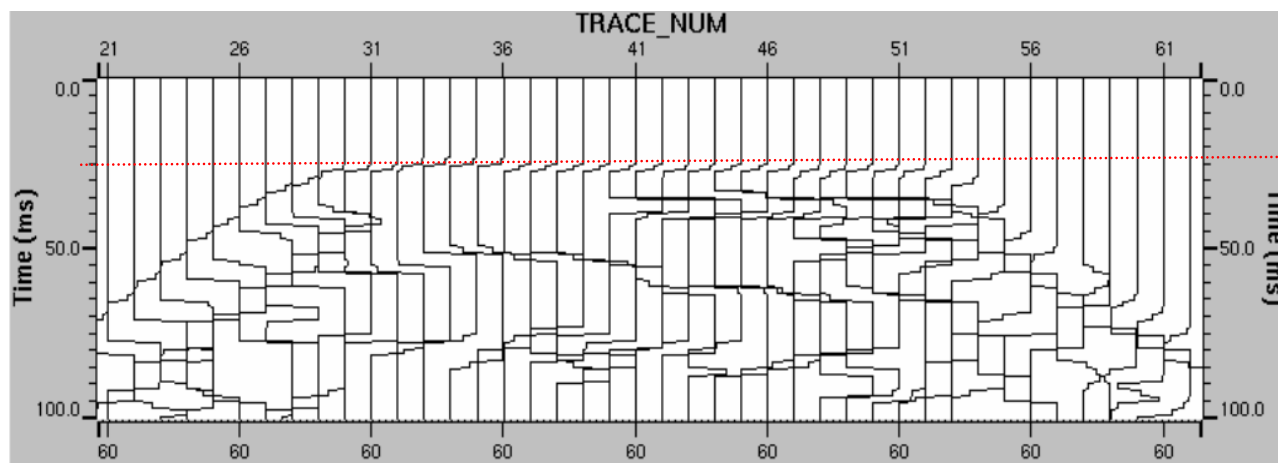


Figura 19 Registro N° 60 (FF 60), 6 Kg de Booster I-1000 cargado a 15 metros

En la tabla siguiente (II) se pueden apreciar los valores de tiempo calculados a partir de la geometría de recepción, comparados con los leídos en el sismógrafo, observándose una notable correspondencia entre ellos al igual que con los leídos desde el ShotPro (14,5 contra 15 ms)

Si ahora se observa el registro obtenido con el pozo cargado con 6 Kg de Cut to Fit, utilizando la misma geometría de recepción, se ve claramente que no existe una alineación para el primer arribo de todas las trazas, como sucedió en el caso anterior con Booster I-1000. Se puede apreciar una clara deformación en las trazas cercanas al punto de explosión. (ver figura 20).

El ruido observado en las trazas más cercanas al pozo CTF, se debe a la interferencia de la energía liberada por el conjunto detonador-cordón detonante del sistema CTF. Por esta razón se hace confuso y poco confiable la determinación del tiempo del primer arribo, sin embargo puede apreciarse que esta perturbación

disminuye a medida que el geófono esta mas alejado de la boca del pozo, lo que se ve corroborado en los tiempos leídos y mostrados en la Tabla II.

DISTANCIA GEÓFONO (m)	PROFUN. CARGA (m)	DISTANCIA CALCULADA (m)	DISTANCIA GEÓFONO SHOT-PRO (m)	VELOCIDAD MEDIA (m/seg.)	TIEMPO LEÍDO SHOT-PRO (mseg.)	TIEMPO CALCULADO (mseg.)	TIEMPO LEÍDO I-1000 (mseg.)	TIEMPO LEÍDO CUT to FIT (mseg.)
1	15	15,03	3	1054,97	14,5	14,25	15	9
2		15,13				14,34	15	9
3		15,30				14,50	15	9
4		15,52				14,72	15	11
5		15,81				14,99	15	13
6		16,16				15,31	15	13
7		16,55				15,69	15	15
8		17,00				16,11	15	15
9		17,49				16,58	17	15
10		18,03				17,09	17	15

Tabla II

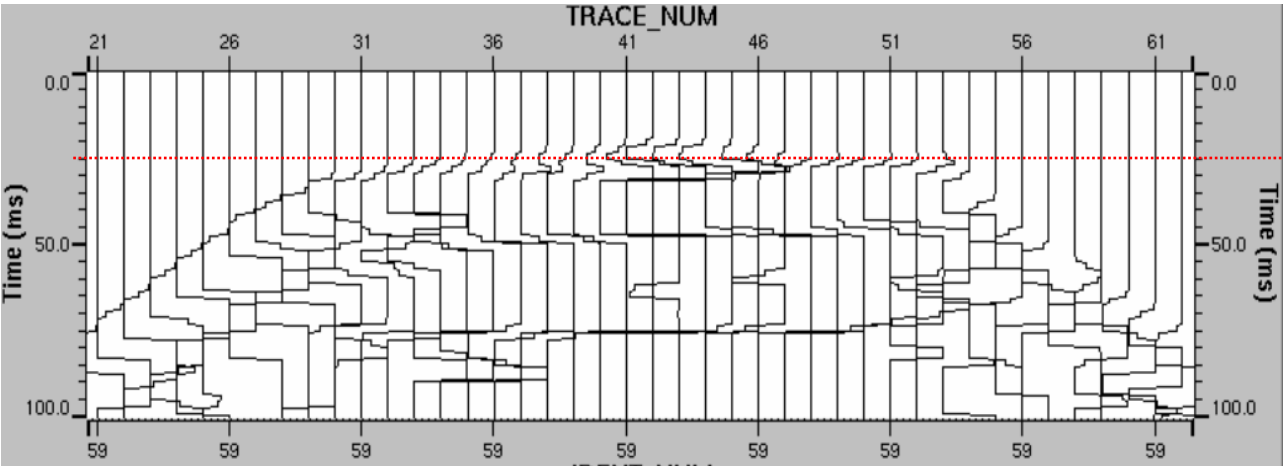


Figura 20, Registro N° 59 (FF 59), 6Kg de CTF cargado a 15 metros

Analizando el total de las pruebas, podría generalizarse el concepto que cuando el geófono de pozo se coloca a distancias mayores a 7 / 8m de la boca del pozo cargado con CTF, donde el ruido de la “energía no deseada” tiene una influencia menor ó nula, los primeros arribos del sismógrafo (corregidos del Group Delay: 11 ms) son comparables con los leídos por el ShotPro, teniendo en cuenta que la apreciación del monitor del sismógrafo es de 2 milisegundos. Sin embargo la topografía podría causar un efecto no deseado en estas condiciones.

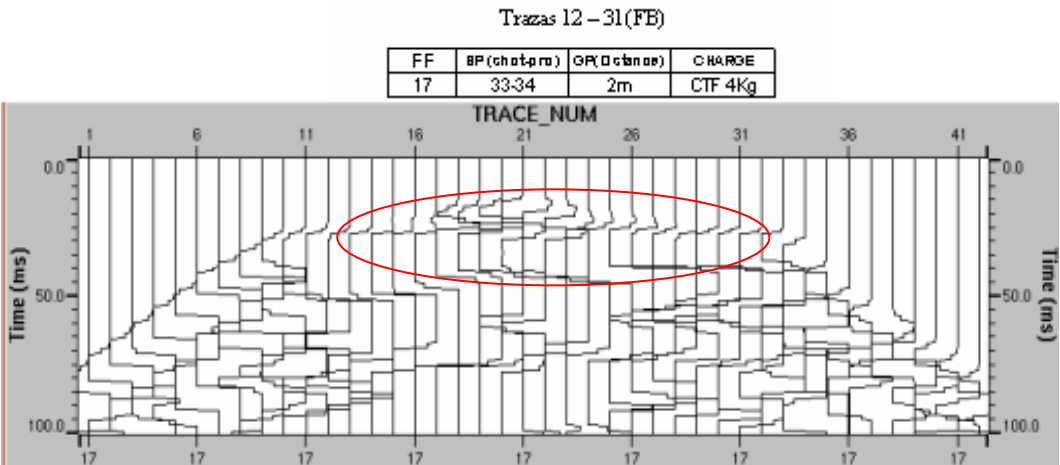


Figura 21, Registro N° 17, 4 Kg de CTF cargado a 10 metros; geófono del ShotPro a 2 metros

Trazas 12 - 31(FB)

FF	BP(shotpro)	GP(Geophone)	CHARGE
29	43.44	7m	CTF 4Kg

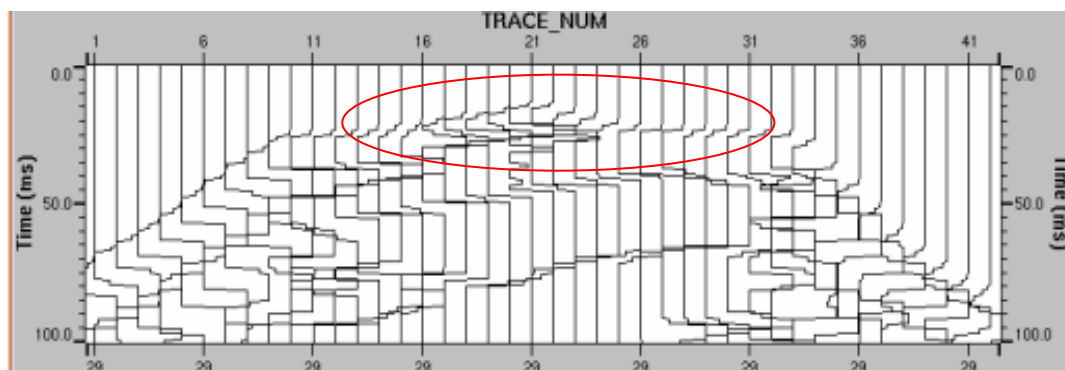


Figura 22, Registro N° 23, 4 Kg de CTF cargado a 10 metros; geófono del ShotPro a 7 metros

Si bien la geometría de esta prueba, con un muestreo espacial de 1 metro de intervalo, ha permitido evaluar el comportamiento del “tiempo de pozo” utilizando el sistema Cut to Fit se puede concluir que: “este no es cien por cien confiable y que deberá considerarse la situación particular que presente cada área de trabajo”. En las figuras 21 y 22 se muestran algunos registros del sismógrafo para comparar los tiempos de estos monitores con los ya interpretados en la Tabla I.

CONCLUSIONES

La energía sísmica aportada por el CTF, es comparable con la proporcionada por la Pentolita convencional, de tal manera que esta última podría ser suplantada por el CTF sin mayores riesgos energéticos y con un muy importante aporte a la seguridad industrial. Para obtener el mejor "uphole time" con CTF, habrá que ensayar en cada área cual es la distancia óptima a la boca del pozo para colocar el Geófono del ShotPro. Los riesgos de no obtener el tiempo de corrección adecuado vs. Seguridad en el manejo de explosivos, deber ser previamente evaluada en c/u de los proyectos.

El dBX ha demostrado un incremento en la energía sísmica recibida, manteniendo al menos el mismo ancho de banda que los otros sistemas con un incremento en la relación señal/ruido de dicha energía. WesternGeco insistirá con Dyno Nobel para que desarrolle el Sistema CTF, utilizando DBX en lugar de Pentolita.

Dyno Nobel ha adquirido una experiencia muy valiosa para la evaluación y desarrollo de sus productos con estas pruebas, y ha entendido que deberá elaborar el sistema CTF a fin de mitigar la interferencia causada por la explosión detonador-cordón detonante en la lectura de los “tiempos de pozo” y poder acercar el geófono de pozo a la boca del mismo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Repsol YPF, WesternGeco (especialmente al Grupo 1799) y a Dyno Nobel por el aporte intelectual y económico para realizar estas pruebas y por el permiso para la publicación de este trabajo.



Foto en Prueba Cavaos, de izquierda a derecha: Roberto Dau, Victor Pelayes, Williams McGovern, George Cariz, Gerardo Flores, Pacífico Concetti y Juan Lavecchia