

Correcciones estáticas aplicadas a datos sísmicos adquiridos en zonas de transición tierra-mar

Edenia de la Caridad Camejo-Cordero^(*1), Rubén Díaz-Fonseca⁽¹⁾ y Grisel A. Ameijeiras-Fernández⁽¹⁾

(1) *Centro de Investigaciones del Petróleo, Churrucá No. 481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, Cuba. Z/P 12 000. E-mail: edenia@digicupet.cu*

Recibido: septiembre 24, 2013	Aceptado: octubre 17, 2013
-------------------------------	----------------------------

Resumen

Las adquisiciones sísmicas en zonas de transición generan un gran desafío para los especialistas que se dedican a su tratamiento. Especialmente complejo es el tema del cálculo de los valores de correcciones estáticas, pues la variabilidad en los espesores y densidades de la zona de bajas velocidades así como el relieve superficial afectan los tiempos de llegada de la onda. La utilización de múltiples fuentes de excitación acentúa este problema. Con el empleo de datos sísmicos, topográficos e hidrográficos de un área del occidente de Pinar del Río, se calcularon los valores de las correcciones estáticas primarias, que permitieron corregir el efecto negativo que se provoca en la señal sísmica, logrando una imagen sísmica en tiempo con mejor definición de los elementos geológicos debido, en gran medida, a la aplicación de las correcciones estáticas por elevaciones. La efectividad de las correcciones estáticas por refracción no fue la esperada.

Palabras clave: correcciones estáticas por elevación, corrección estática por refracción, topografía del relieve, velocidad del reflector.

Static corrections applied to seismic data acquired in land-marine transition zone

Abstract

The seismic acquisitions in transition areas generate a great challenge for the specialists that are dedicate to their treatment. Especially complex is the topic of the calculation of the values of static corrections, because of the variability in the thicknesses and densities of the area of low velocity as well as the superficial relief affects the arrival times of the wave. The use of multiple excitement sources accentuates this problem. With the employment of seismic, topographical and hydrographical data of an area of the occident of Pinar del Río the primary static correction values were calculated. That allowed to correct the negative effect that these issues provoke in the seismic signal, being achieved a seismic image with a better definition of the geologic elements due in great scale to the application of the static corrections for elevations. The effectiveness of the static corrections for refraction was not the expected one.

Key words: static corrections for elevation, static corrections for refraction, topography of the relief, velocity of the reflector

1. Introducción

La construcción de imágenes sísmicas del subsuelo es el objetivo de toda secuencia para el tratamiento relacionado con los datos sísmico de campo, en la exploración de hidrocarburos. Para lograr una imagen más real del medio sísmico, es necesario utilizar metodologías cada vez más complejas y precisas de adquisición y procesamiento, con el fin de minimizar los efectos indeseados presentes en la información; los cuales son causados por las

heterogeneidades siempre presentes en las rocas. Uno de estos efectos indeseados, es el que provocan en los tiempos de llegadas de las ondas sísmicas, las características (velocidades, densidades y espesores) de la capa más superficial del suelo (zona de meteorización o zona de bajas velocidades). A diferencia de las rocas más profundas, esta capa la conforman materiales poco compactados y meteorizados, en los cuales las ondas sísmicas se desplazan muy lentamente. Estas capas retardan la llegada, y deforman la información que viene de reflectores más profundos, que son los que interesan en la exploración de hidrocarburos.

Las variaciones topográficas causan también efectos indeseados en la imagen sísmica final, especialmente los cambios bruscos en las elevaciones de los puntos de excitación y en las estaciones, que provocan el retardo de la señal sísmica durante su registración, la cual arriba con retardos y deformaciones, afectando así la imagen del subsuelo,

Se impone entonces aplicar correcciones a la información sísmica de campo para eliminar los efectos indeseados causados por la parte superior del suelo y las diferencias del relieve. Estas correcciones son llamadas, correcciones estáticas primarias, y se aplican ampliamente en el procesamiento correspondiente a los datos de las adquisiciones terrestres y de zona de transición. En dependencia del tipo de efecto a eliminar, las correcciones estáticas pueden clasificarse en, correcciones estáticas por elevación (para eliminar el efecto del relieve) y correcciones estáticas por refracción (para eliminar el efecto del relieve y de la parte somera del suelo); aunque existen otras clasificaciones, como es el caso de correcciones de estáticas por el efecto de la marea, por temperatura del agua, por tiempo vertical, entre otros.

En Cuba, la investigación contenida en este artículo constituye la primera experiencia de procesamiento de datos obtenidos en zonas de transición. Aunque de difícil y complejo tratamiento, el cálculo y aplicación de las correcciones estáticas en zonas de transición contribuye a mejorar la correlación entre la información registrada en tierra, y aquella que se registra en el mar. Téngase en cuenta que los levantamientos transicionales se caracterizan por la utilización de diversas fuentes de energía y dispositivos receptores, los cuales se encuentran, en diferentes superficies de referencia en el momento de la registración, lo que contribuye también a mejorar cualitativamente la imagen sísmica en el resultado final obtenido.

Las correcciones estáticas se hacen para compensar los retardos en tiempos causados por cambios en la topografía, así como por las variaciones de espesor y de velocidad de la capa superficial o meteorizada. Cox (1999), *Static Corrections for Seismic reflection Surveys*.

Investigaciones recientes relacionadas con imágenes sísmicas someras, indican que los retardos en tiempo de las estáticas en los datos sísmicos pueden ser causados por cambios relativamente pequeños en los espesores de las capas superficiales de bajas velocidad, lo que pudiera ser de gran importancia.

La relación variación del relieve versus velocidad de la corrección, involucra a la comúnmente denominada "Zona Erosionada". En algunos lugares la zona erosionada consiste, fundamentalmente en materiales poco consolidados, próximos a la superficie. Usualmente las velocidades de las ondas P en esos materiales poco profundos y no consolidados son, más bajas que la velocidad del sonido en el aire. Steeples- Baker (1999) *Finding Seismic Static Corrections*.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

Para el cálculo de las correcciones estáticas que se describen en este artículo, se utilizó la información sísmica y topográfica de campo de líneas de adquisición sísmicas 2D ubicadas en los bloques I y 2, registradas sobre un área de transición mar-tierra, en la costa norte de la provincia de Pinar del Río, donde existe una topografía muy accidentada. Estas condiciones requirieron la utilización de métodos de adquisición más complejos, que incluyeron tres tipos de fuentes de excitación: cañones de aire (parte marina), vibrador y dinamita (tierra); así como dos tipos de dispositivos receptores: geófonos (tierra) e hidrófonos (mar), (Camejo, 2011). Esta forma de adquisición trae consigo variantes más complejas de procesamiento sísmico, y con ello también procedimientos más complicados relacionados con el cálculo de las correcciones estáticas. Con ese fin se utilizaron programas de tratamiento diseñados para ese efecto. (CGG) (2004).

2.2 Métodos

2.2.1 Secuencia de trabajo para la aplicación de las correcciones estáticas por elevación

Los valores de elevaciones se obtuvieron a partir de la información contenida en los ficheros de soporte de procesamiento sísmico (SPS, por sus siglas en inglés), que contienen informaciones tales como: coordenadas de las fuentes y receptores, tipo de fuente, tipo de receptor, profundidad de las fuentes, elevaciones, tiempos verticales, entre otros. A partir de esta información se ejecutó la siguiente secuencia de trabajo que será descrita en las páginas sucesivas.

Todas las elevaciones están señaladas como positivas (\uparrow) en tierra y negativas en el mar (\downarrow), y se expresan en metros. Las distancias son siempre positivas (\uparrow) y también están en metros. La unidad de tiempo es el milisegundo (ms). Una traza $S(t)$ deviene $S(t-\tau)$ una vez que ha sido corregida por el tiempo (valor estático τ). Los valores de estáticas calculados para las estaciones se representan con las siglas C_s , los valores de estáticas para los puntos de excitación están representados como C_p , y ambos se expresan en ms. Se tomó el nivel medio del mar (NMM), como superficie de referencia para expresar los valores de estáticas.

El primer paso consistió en determinar los parámetros siguientes:

1. Encontrar la velocidad V_z en m/s de la primera capa debajo de la superficie de la tierra. En la parte marina se toma el valor promedio de la velocidad del agua (1500). Si los registros con explosivos están disponibles se utilizan los tiempos verticales (TVs) para determinar una velocidad regional por área.
2. La elevación de los hidrófonos es igual a la profundidad del mar ya que están colocados sobre el fondo marino, con signo negativo referido al nivel medio del mar (NMM). La elevación de la fuente de excitación (cañón de aire o explosivo) es la elevación en el punto, cuyo valor toma en consideración el valor de la marea en el momento del disparo. En el caso de un punto excitado con vibrador (PV), la elevación está referida al mismo punto. La misma condición se cumple para los casos de los puntos de disparo con fuentes explosivas (PT).
3. El tercer paso es llevar los puntos, tanto de recepción como de excitación al NMM, para lo cual se hicieron las siguientes consideraciones:

ZPE=Altura del pt (altura de marea)	TV=Tiempo vertical
ZPR=Altura del receptor	PPE=Profundidad Punto de Explosión
PWPE=Prof. agua Punto Explosión	PPR=Profundidad Punto de recepción
PWPR=Prof. agua Punto de Recepción	
MSL=Nivel Medio del Mar	
Do= Mayor profundidad	

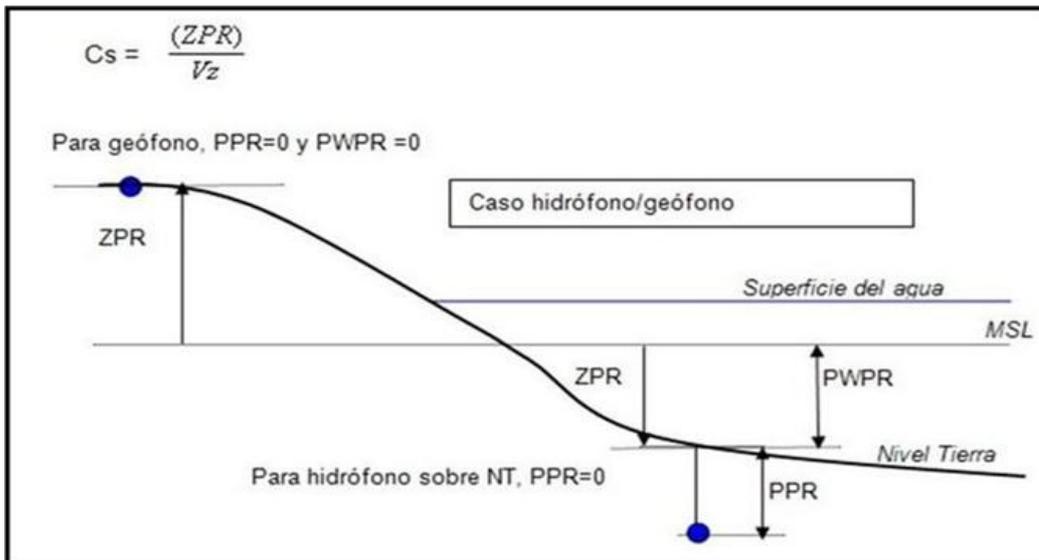


Fig. 1. Método para el cálculo de la corrección estática para un hidrófono

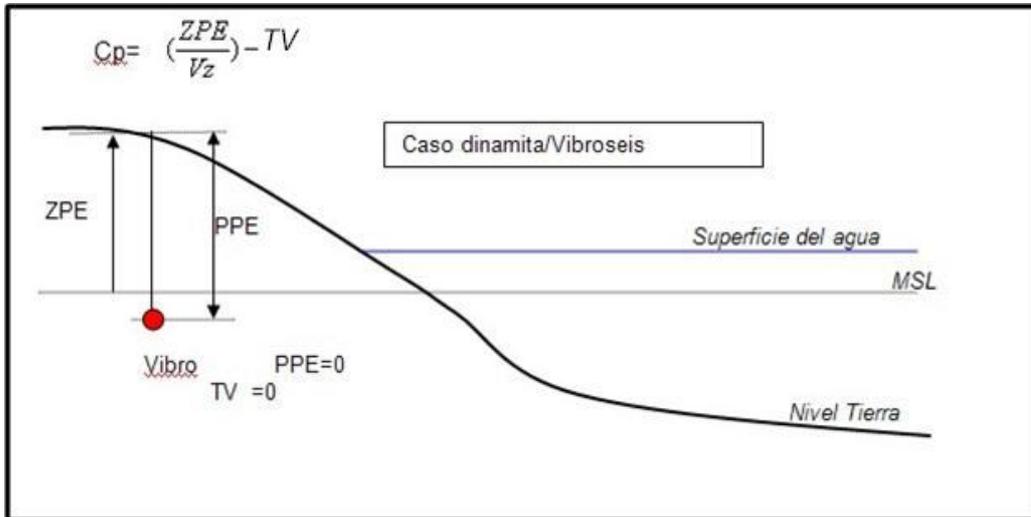


Fig. 2. Corrección estática para un punto de tiro (PT), con fuente explosiva o vibradora

Esta figura muestra el cálculo de la corrección estática para un punto de tiro (PT), en caso que se use fuente explosiva o vibradora:

Para un disparo con cañones de aire, la elevación del fondo del mar en el punto es $ZPE - PWPE$. Si esta elevación es más baja que D_0 , la corrección quedaría como se ilustra en la fig. 3. De lo contrario, la corrección tiene dos partes: $PWPE - PPE / 1500$ y las cuales tienen que ser sumadas juntas.

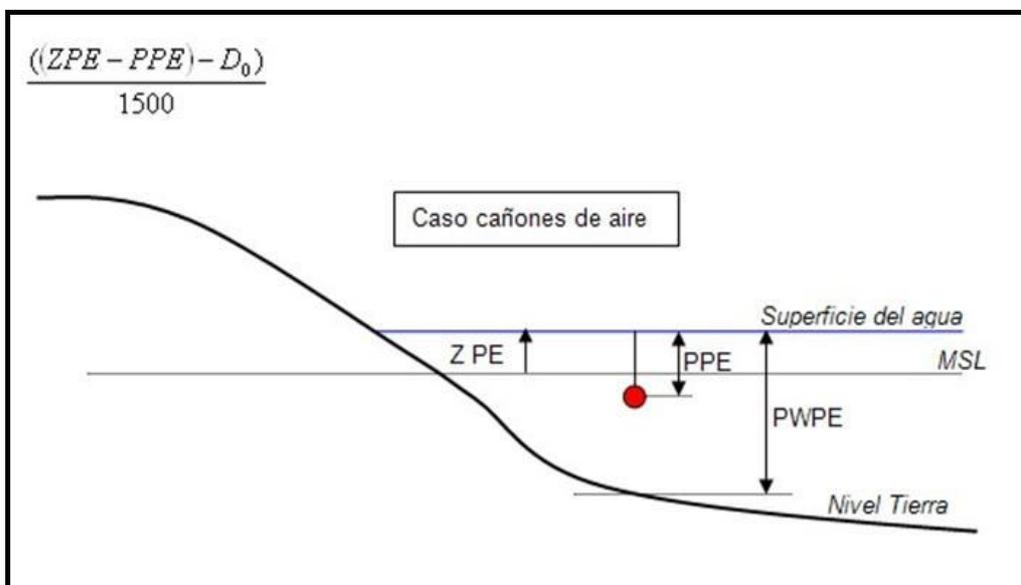


Fig. 3. Corrección estática para el caso de cañones de aire

La secuencia de trabajo para las correcciones estáticas por elevación se ejecutó en tres etapas:

1. Primeramente a partir de los ficheros SPS se crearon ficheros con la numeración de puntos de tiro y receptores, valores de coordenadas y elevaciones, profundidad de la fuente, profundidad de los receptores, profundidades del mar para fuentes y receptores, así como, los valores de tiempos verticales (para las fuente explosiva).
2. Como segundo paso fueron calculados los valores de estáticas para cada uno de los casos deseados, a partir de los algoritmos antes expuestos, generándose un nuevo fichero con estos valores.
3. En el tercer y último paso, con el empleo del fichero generado en el paso anterior, se procedió a la creación de las librerías de valores de estáticas por elevación y por profundidad de las fuentes y receptores, además de las estáticas de tiempo vertical (fuentes explosivas), estas poseen una estructura comprensible al programa a utilizar.

Secuencia de trabajo para la aplicación de las correcciones estáticas por refracción

El método de refracción para el cálculo de los valores de estáticas empleado, utiliza los datos sísmicos con geometría como información primaria, y están basados en el análisis de los tiempos de las primeras llegadas, que se registran en los grupos de receptores próximos a la fuente de excitación. De esta manera se provee de una variante alternativa muy efectiva en áreas en las cuales los estudios de microrefracción están ausentes, o no existe un modelo de velocidades y espesores de la parte más superficial de la corteza terrestre.

La secuencia de cálculo de estáticas por refracción utilizada. (Díaz- Ameijeiras 2009), fue realizada en tres pasos:

1. Determinación de la velocidad del primer refractor por debajo de la capa meteorizada del suelo. Esta velocidad es utilizada para aplicar una corrección lineal al dato sísmico, con el objetivo de que las primeras entradas, que caracterizan la parte superior del corte sísmico, se coloquen en posición recta horizontal, lo cual permite una mejor selección de los tiempos de las primeras entradas.
2. Selección de los tiempos de las primeras entradas y el cálculo de los valores de estáticas.
3. Exportación de los ficheros que contienen los valores de estáticas de refracción.

La aplicación utilizada permite la obtención de los valores de estáticas de refracción empleando dos métodos de cálculo diferentes:

Primer método: Obtención de los valores de estáticas de refracción a partir de la selección automática de los tiempos de las primeras entradas.

Como primer paso se obtuvo la velocidad del primer refractor, posteriormente se realizó la selección automática de los tiempos de las primeras entradas y después fue calculado de forma automática los valores y ficheros de estáticas.

Este método proporciona los resultados más precisos.

Segundo método: Obtención de los valores de estáticas a partir de la selección manual de las primeras entradas

Se comenzó con la obtención de la velocidad del primer refractor, a continuación se aplicó una corrección dinámica lineal al dato, con el valor de velocidad determinado anteriormente, después se realizó una selección manual de los valores de tiempo de las primeras entradas, se calculó los valores de estáticas y por último la exportación de estos valores de estáticas calculados.

3. Resultados y discusión

La aplicación de las correcciones estáticas por refracción tienen como objetivo reforzar los resultados obtenidos con el método descrito anteriormente en este artículo; sin embargo los resultados de su aplicación no fueron los esperados. Ambos métodos de cálculo de estáticas por refracción (método de selección automática y método de selección manual de los tiempos de los primeros arribos de la onda), fueron probados para el área que se investiga. El primer método no pudo ser ejecutado, pues en esta variante el programa utiliza un umbral de búsqueda que asume que, las elevaciones para un punto de tiro y para una estación receptora con la misma numeración, son idénticas o difieren muy poco. En la parte marina de esta adquisición las elevaciones de las fuentes difieren en magnitud con respecto a la de las estaciones, en estas últimas los valores de las elevaciones coinciden con los valores de profundidad del mar (con signos contrarios), mientras que las fuentes se mantienen a una profundidad constante con valores que no van más allá de los 4.00 metros (profundidad establecida para los cañones neumáticos por las pruebas de inicio de la adquisición). Estas circunstancias provocaron ambigüedades imposibles de resolver por el programa.

Con el empleo del segundo método de refracción, fueron obtenidos ficheros de estáticas, con los cuales se alcanzaron buenos resultados en la parte terrestre del área en estudio. No así en la parte marina, donde se produjo una fuerte deformación de los horizontes reflectores, que fueron causados por no contar en el área con un refractor fuerte, lo suficientemente definido y continuo, así como por la existencia de variaciones horizontales de la velocidad del refractor. Tales efectos hicieron engorrosa la selección de los tiempos de llegadas correspondientes a las primeras entradas del dato, con el consecuente aumento del margen de error en el cálculo de las estáticas. En la parte marina del proyecto estas dificultades están acentuadas debido a la presencia de la capa de agua, y a la existencia de sedimentos poco compactados (capa de fango) que yacen en el fondo marino, lo que dificulta precisar el valor de velocidad a utilizar en la corrección lineal del dato. Por esta causa se optó por no utilizar estos resultados, y corregir el dato sísmico solamente con los valores de estáticas por elevaciones; que fue el método aplicado finalmente al dato sísmico. Para casos como este, la solución más idónea es la realización de trabajos de microrefracción, enfocados a estudiar la parte más superficial del corte, que complementen la información sísmica principal y que permitan modelar las velocidades, y los espesores de la zona meteorizada, contribuyendo así a la exactitud de las correcciones estáticas.

Las correcciones estáticas por elevación fueron aplicadas en la etapa de pre procesamiento del dato sísmico, y contribuyeron grandemente a la mejora en la continuidad de los reflectores, y por consiguiente, incrementaron la resolución de la imagen sísmica. (Fig. 4).

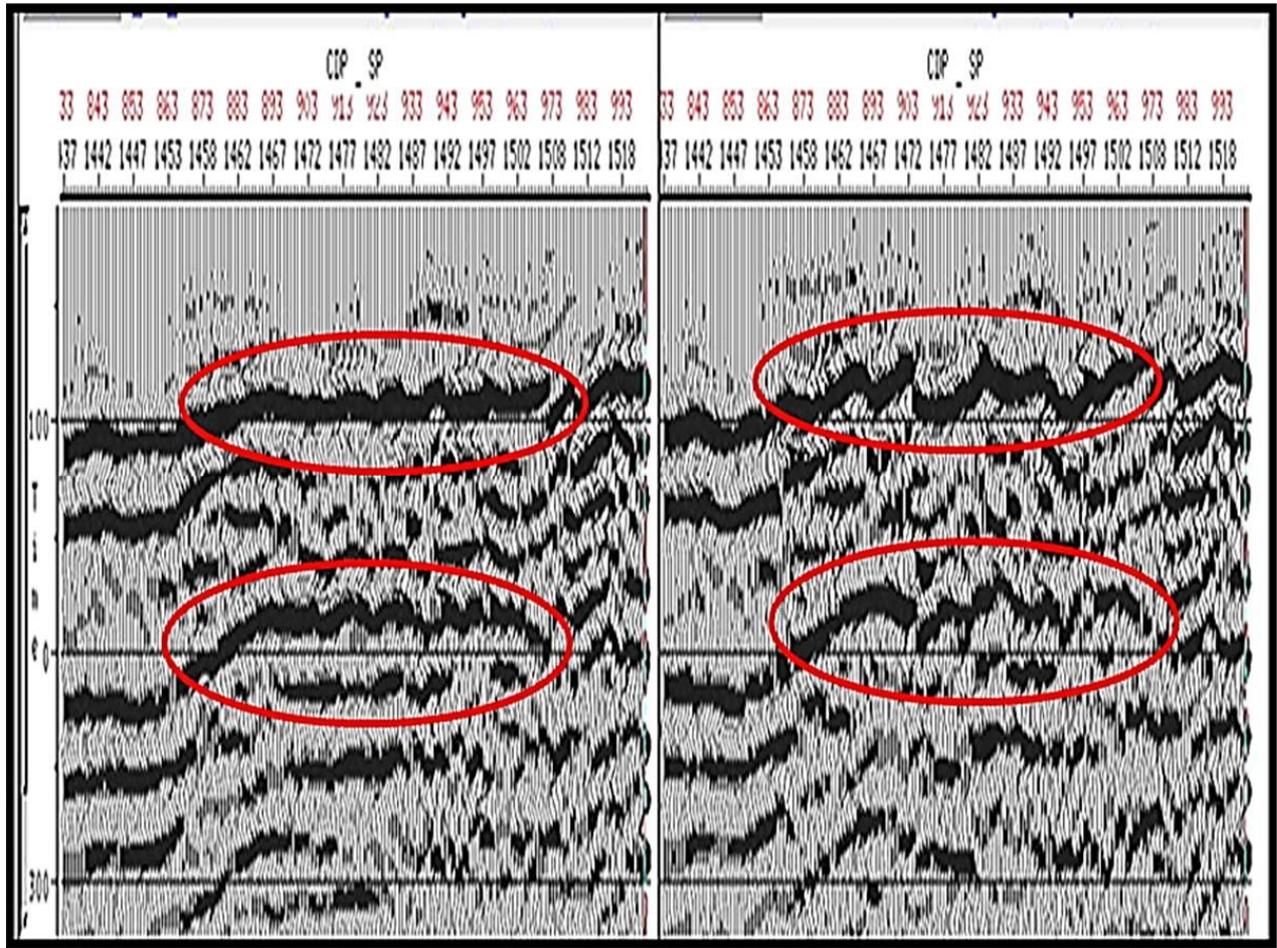


Fig. 4. Suma con los valores de estáticas por elevación (izquierda), suma con valores de estáticas de refracción (derecha)

Conclusiones

Se creó una secuencia que permite el cálculo de valores de correcciones estáticas por elevación con un alto grado de precisión para ser aplicadas en datos adquiridos en zonas de transición.

La aplicación de las correcciones estáticas por elevación mejora en gran medida el corte sísmico final, los eventos de interés se muestran mejor definidos y se observa una mejor correlación en las fases de los mismos.

Con la aplicación de las correcciones estáticas por refracción, las imágenes sísmicas obtenidas, no tuvieron la calidad esperada, no obstante, no se descarta la posibilidad de la obtención de mejores resultados con el empleo de métodos de estudios de refracción más precisos.

Agradecimientos

Se agradece toda la ayuda brindada por el Dr. Guillermo Miró Pagés, coordinador de la maestría de geofísica, del ISPJAE, por su constancia e interés, gracias.

Referencias

- CGG User's Manual, Software Geocluster 3100 (2004): Edition ed. Massy, Francia: COMPAGNIE GENERALE GEOPHYSIQUE.
- Camejo, E., R. Díaz (2011): Estáticas en Zonas de Transición. En: *IV Convención de Ciencias de la Tierra- GEOCIENCIAS'2011* [Memorias], La Habana, Cuba, 4-9 abril, pp. 375-381. ISBN 959-7117-30-8.
- Cox, M. (1999): Static Corrections for Seismic reflection Surveys, [en línea]. Consultada: 25 de oct. 2012. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1190/1.9781560801818>.
- Cefoga (2004): Controlled Phase, Geoscience Training Centre, COMPAGNIE GENERALE GEOPHYSIQUE (CGG).
- Díaz, R., G. Ameijeiras (2009): Proyecto 2723, Capítulo II, Etapa VI: Estáticas en la Zona de transición, Archivos del CEINPET, 8 p.
- Steeple, D. W., G. Baker (1999): Finding Seismic Static Corrections, [en línea]. Consultada: 25 de oct. 2012. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1190/1.9781560801818>.

Datos de los autores:

Edenia Camejo

Máster en Ciencias Geofísicas, actualmente trabaja como especialista II en el Procesamiento de datos sísmicos, en Investigación y Desarrollo, del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS), miembro de la SGC y de la UNAIC

Rubén Díaz

Ingeniero Geofísico, actualmente trabaja en el Procesamiento de datos sísmicos, es Especialista I en Investigación y Desarrollo, del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS) miembro de la SGC y de la UNAIC.

Grisel Ameijeiras

Ingeniera Geofísica, actualmente trabaja en el Procesamiento de datos sísmicos, como Especialista I y principal en Investigación y Desarrollo, del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS) miembro de la SGC y de la UNAIC.