VECTOR GEOPHYSICAL

VG-632/19
Bogotá, Noviembre 28 de 2019

COPIA

Señores
AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS
Atención: Ing. Luis Carlos Vásquez
Supervisor del Contrato 675 de 2019
Ciudad.

ANH
Al contestar cite Radicado: 20192110417932 Id: 458593
Folios. 47 Fecha: 2019-11-28 15:19:24
Anexos: 0
Remitente : VECTOR GEOPHYSICAL S.A.S. - EDILBRANDO POVEDA
Destinatario: GERENCIA DE GESTION DEL CONOCIMIENTO

Apreciado Luis Carlos:

Adjuntamos a la presente los siguientes documentos del Programa Arjona 2D:

- ✓ Informe Línea Experimental
- ✓ Monitoreo Velocidad de Partículas

Cordialmente,

VECTOR GEOPHYSICAL S.A.S. EN REORGANIZACION

EDILBRANDO POVEDA
Director de Proyecto

001

VECTOR GEOPHYSICAL

ANH AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS

INFORME
LÍNEA EXPERIMENTAL
ARJONA 2D 2019

Noviembre 27 de 2019

002

VECTOR GEOPHYSICAL

ANH AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS

INDICE

1. Localización
2. Descripción Regional
3. Geología Estructural
4. Topografía
5. Perforación
6. Registro
7. Proceso

1. LOCALIZACIÓN

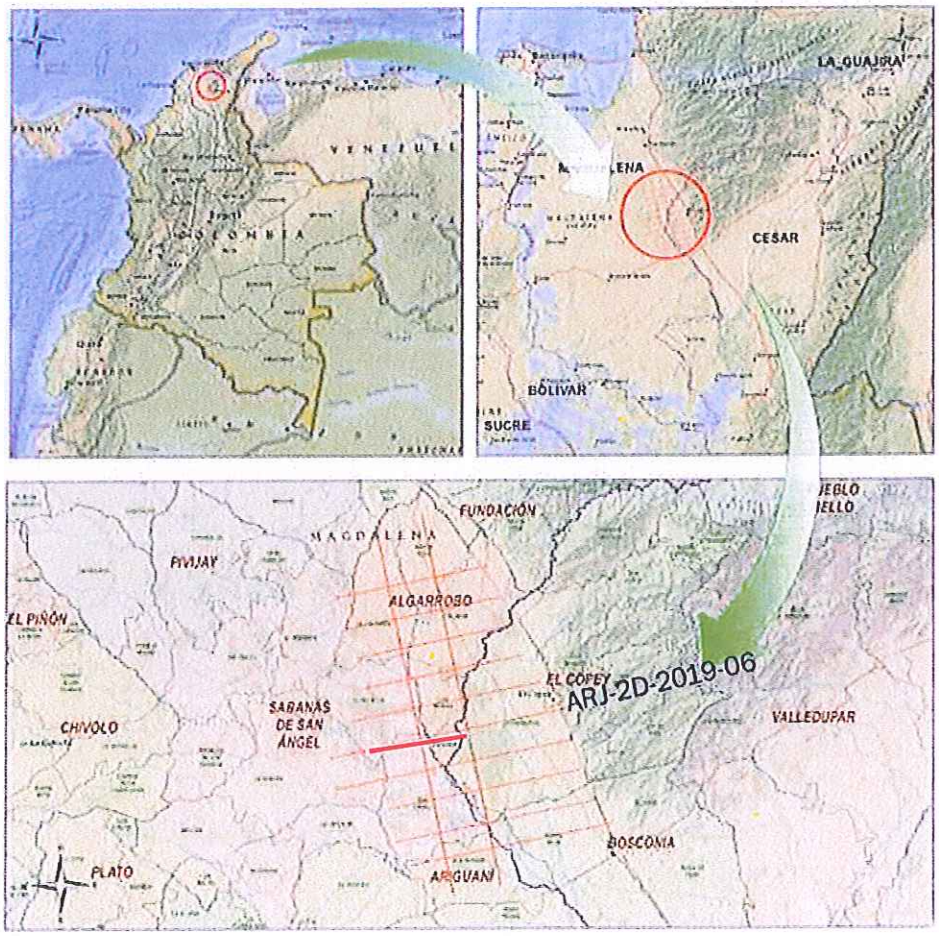


Figura 1. Localización general de la línea ARJ-2D-2019-06, ubicación de la línea experimental del programa geofísico.

2. DESCRIPCIÓN REGIONAL

El área del Programa Sísmico Arjona 2D, se puede dividir en 2 regiones, por sus diferencias estructurales, lito estratigráficas y topográficas, siendo estas la región de la Sierra Nevada de Santa Marta (zona Nororiental), y la región del Valle Medio del Magdalena (zona Suroccidental). Dentro del Valle Inferior del Magdalena, se presentan formaciones rocosas recientes del Paleógeno, como la Formación Zambrano, correspondientes a secuencias sedimentarias de origen marino somero compuestos por areniscas conglomeráticas, areniscas y lodolitas intercaladas con capas de calizas y lodolitas. Estas formaciones se encuentran en contactos erosivos con rocas de origen continental compuestos por conglomerados intercalados con areniscas de tamaño medio, conglomeráticas, lodosas y lodolitas de la

Formación Astrea-Cuesta, y depósitos tanto recientes como antiguos, de la actividad fluvial del área. (Tomado de LMA)

FORMACIÓN	% LÍNEA
Formación Guatapurí (Tig	0.3%
Facies Cuarzo-monzonita (Jpbp-cm)	0.4%
Formación Cuesta (N2c)	0.7%
Formación Zambrano (N2z)	10%
Depósitos coluvio-aluviales (Qcal)	8.6%
Depósitos aluviales del cuaternario recientes (Q1al)	80%

Tabla 1. Distribución de formaciones geológicas del programa geofísico.

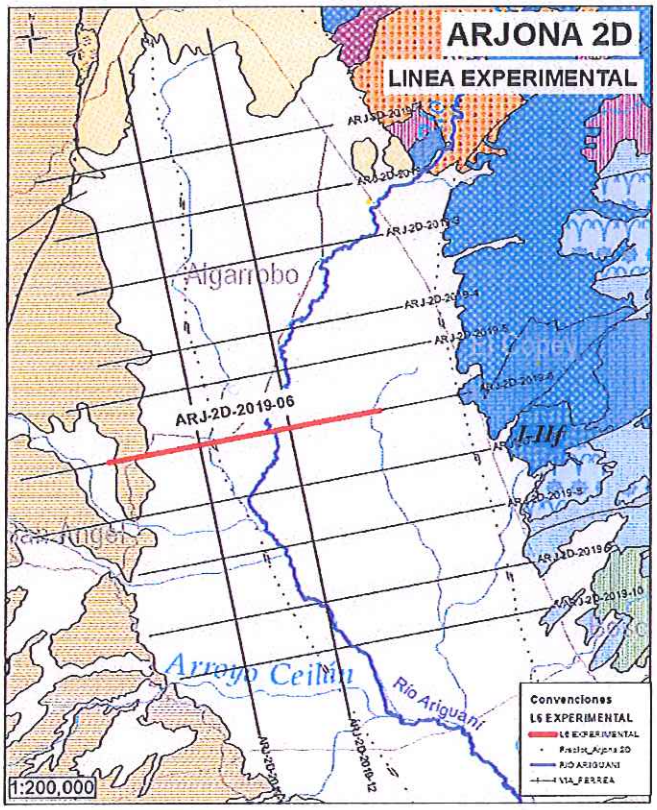


Figura 2. Localización general de la línea experimental, sobre mapa geológico

- ***Formación Guatapurí (Tjg)***

Son una de las unidades más al Sur de esta zona de estudio en la región de la Sierra Nevada de Santa Marta haciendo referencia a una serie de depósitos vulcanoclásticos y sedimentarios de

color rojo, morado y púrpura descrita por Tschanz *et al.* (1969). Está compuesta por superposiciones de secuencias granodecrecientes de capas gruesas y muy gruesas, subtabulares y lentiformes, con contactos basales erosivos. De base a techo se reconocen conglomerados matriz soportados con guijos y guijarros redondeados de composición volcánica y vulcanoclásticas, areniscas tobáceas feldespáticas, wackas feldespáticas y limolitas arenosas en ocasiones tobáceas. Las rocas vulcanoclásticas ocurren en capas muy gruesas, de textura porfiroclástica meso a fino granular con matriz afanítica de color gris rojizo, púrpura y marrón, con cristales de plagioclasa, anfíboles, cuarzo, epidota, feldespato potásico, piroxenos y magnetita.

Dentro de la zona de estudio la Formación Guatapurí suprayace concordantemente con la secuencia de la Formación Corual, e infrayace discordantemente a las rocas de las unidades Riolita de los Tábanos (**Jt**), Riolita de Golero (**Jg**), y por las Calizas y shales cretácicos sin diferenciar (**Kcsi**). Además, presenta un contacto intrusivo con el Batolito de Pueblo bello (Jpbp-com). Por relaciones estratigráficas principalmente se le ha asignado una edad de Triásico inferior a Jurásico inferior. (INGEOMINAS, 2007).

- ***Facies Cuarzo-monzonita (Jpbp-cm)***

Esta unidad es denominada Batolitos de Pueblo Bello y Patillal, y abarca gran parte de la orilla oriental del área de estudio; reconocido por Tschanz *et al.* (1969) como un cinturón discontinuo con orientación SW-NE. Las facies Cuarzo Monzonita corresponden a rocas intrusivas de color rosado, de grano medio a grueso, de textura holocristalina e hipidiomórfica.

Su mineralogía está conformada por cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíbol, permitiendo identificar así rocas cuarzo monzoniticas, monzogranitos, y algunos granitos.

Dentro de esta área de estudio se encuentra en contacto discordante con la unidad suprayacente de Ignimbrita de los Clavos (**Jlc**), en contacto discordante con la Riodacita de los Tábanos (**Jt**) y en contacto discordante con las Calizas y shales sin diferenciar (**Kcsi**). Son de edad Jurásico inferior a medio. (INGEOMINAS, 2007).

- ***Formación Cuesta (N2c)***

Esta formación aflora en una pequeña zona al Suroriente del área de estudio, reconocida y definida por Notestein (1944) en De porta *et al.* (1974), como una secuencia de sedimentos semiconsolidados, mal calibrados con algunas intercalaciones de conglomerados, limolitas y arcillolitas, donde ocasionalmente se presentan costras de óxidos de hierro. Los conglomerados son de gravas gruesas con matriz areno limosa, los cantos están bien redondeados, su composición principalmente es de cuarzo, rocas volcánicas y escasas sedimentarias. Las limolitas y arcillolitas se presentan en lentes blancos, moteados de color morado y gris.

- ***Formación Zambrano (N2z)***

Esta formación está definida por el Servicio Geológico Colombiano según los informes de Duque-Caro *et al.* (1991) como un conjunto arenoso con intercalaciones de lodolita y limolitas,

en capas gruesas y finas, con ocasional presencia de yeso, conchas de bivalvos y gasterópodos. (CONSORCIO GSG, 2015). Dada la gran extensión de esta unidad, y que aflora en gran parte del área de estudio, fueron definidas tres secciones estratigráficas en diferentes zonas descritas de la siguiente manera:

Sección Caraballo, presentando un espesor de 520 m se logra dividir en dos niveles diferentes, un nivel inferior con predominio de litologías arcillosas y uno superior con predominio arenoso. El primero consta de lodolitas grises, silíceas, localmente calcáreas, laminación plano paralela en capas delgadas a gruesas, frecuentemente físiles, las cuales por alteración presentan una coloración amarilla. Ocasionalmente se evidencian estratos de areniscas calcáreas bioclásticas con abundante contenido fósil de bivalvos y gasterópodos.

El segundo nivel hace referencia a areniscas de grano fino sublíticas en capas delgadas a gruesas con intercalaciones de lodolitas grises, físiles con laminación plano paralela en capas delgadas y medianas.

Sección El Difícil, levantada por la carretera El Difícil y Pueblo nuevo como una columna de espesor y litología variable. Sobre la base se identifica una intercalación de limolitas y areniscas de grano medio bajo un paquete de areniscas de grano fino a medio en capas gruesas, calcáreas, con bioclastos, bioturbación y concreciones de areniscas calcáreas. Este segmento presenta un espesor promedio de 10 m. Suprayaciendo este segmento, se encuentran intercalaciones de arcillolitas, areniscas y limolitas con predominio de espesor en las capas de arcillolitas y limolitas con laminación plano paralela de hasta 15 m.

Los contactos inferior y superior de la Formación Zambrano están cubiertos en gran parte del área por sedimentos cuaternarios y no se observan en campo, pero se reconocen e identifican hacia las zonas occidentales de la formación, donde se encuentra suprayaciendo la Formación Jesús del Monte. Se encuentra cubierta en contacto deposicional por los depósitos cuaternarios recientes y algunos depósitos coluvio-aluviales. (INGEOMINAS, 2003).

- ***Depósitos aluviales del cuaternario antiguos (Q2al)***

Se encuentran localizados principalmente hacia el centro del área de estudio. Estos depósitos corresponden a los sedimentos depositados por la dinámica fluvial del área en el tiempo subreciente, corresponde principalmente a terrazas y llanuras de inundación, esta unidad presenta gran dificultad de cartografía debido a la presencia ciénagas temporales en el área, los materiales que los conforman van desde gravas en matriz arenosa hasta arenas cuarzosas y limos para las terrazas y arena y limos para las planicies de inundación (SGC, 2015).

- ***Depósitos coluvio-aluviales (Qcal)***

Se localizan en las zonas de transición entre las formaciones y los depósitos aluviales principalmente y entre la Sierra Nevada y el Valle. Son depósitos compuestos por gravas subredondeadas y bloques de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas provenientes de la parte montañosa de la Sierra Nevada de Santa Marta, y una matriz arenosa. Se encuentran cubriendo deposicionalmente gran parte de las unidades de la zona de estudio. (SGC, 2015).

- ***Depósitos aluviales del cuaternario recientes (Q1al)***

Corresponden principalmente a los depósitos que dejan a su paso los ríos más grandes que se mezclan con la llanura de inundación en inmediaciones de las ciénagas de la zona. Están formados por gravas y fragmentos de rocas metamórficas e ígneas provenientes en mayor proporción de la Sierra Nevada de Santa Marta. Se logran identificar cuarzo principalmente, fragmentos líticos, feldespatos y micas.

3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área del Programa Sísmico Arjona 2D, se encuentra localizada dentro de la dinámica estructural de la Cuenca del Valle Inferior del Magdalena, limitada por los sistemas de fallas de Romeral al Oeste, Palestina al Sur y Santa Marta-Bucaramanga al Este, y por la región Occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta. Sus estructuras presentan un arreglo penetrativo alto, con un máximo de 60 km de longitud. Las estructuras principales están unidas por fallas menores también arqueadas de traza sinuosa y corta longitud. (INGEOMINAS, 2007) El área se encuentra definida anteriormente como una cuenca transtencional, donde se presentan los siguientes lineamientos:

- ***Anticlinal El Brillante***

Se encuentra ubicado hacia el Sur del área de estudio, presentando una extensión de aproximadamente 62 km. Fue interpretada en el subsuelo por su posibilidad de actuar como sello por las compañías petroleras donde se logra identificar una dirección Noroccidente a su estructura, afectando principalmente las rocas del neógeno. (INGEOMINAS, 2002).

- ***Sinclinal de Ariguaní***

Se encuentra ubicada en las inmediaciones del río Ariguaní, con una orientación paralela a su cauce, de una dirección noroccidente, de longitud aún no estimada. Según estudios sísmicos de la zona para interpretación de subsuelo, este pliegue está afectando unidades del cretáceo. (INGEOMINAS, 2002).

- ***Falla Algarrobo***

Esta falla ha sido identificada en perfiles sísmicos con una dirección noroccidente y un trazo rectilíneo e indefinido. Esta falla se encuentra sub-paralela entre las estructuras sinclinal y anticlinal El Brillante. (INGEOMINAS, 2002).

- ***Falla río Piedras***

Se caracteriza por una traza sinuosa orientada Sur - Norte que se prolonga hacia el Norte del área de estudio, aproximadamente 20 Km hacia el río Aracataca. Se le ha asignado una

geometría de falla inversa de bajo ángulo o cabalgamiento de plano lístrico convergencia al oeste. Sobre la superficie de esta falla se movilizan sedimentos de los Conglomerados de Macaraquilla sobre los Conglomerados de Guamachito. Hacia el Norte, a la altura del río Aracataca, esta falla se conecta al plano de la Falla Guamachito. (INGEOMINAS, 2007).

- ***Falla Guamachito***

Presenta una traza de aproximadamente 21 Km de longitud entre río Piedras y Guamachito con una dirección N30W. Se encuentra conectada a la Falla del río Piedras hacia el río Aracataca. Sobre la superficie de esta falla se movilizan sedimentos de rocas precámbricas como la Granulita de los Mangos y de rocas del neógeno como los Conglomerados de Guamachito. (INGEOMINAS, 2007).

- ***Falla Caracolí***

Se caracteriza por ser una estructura de traza arqueada muy sinuosa y convexa con una dirección noroccidente. Se encuentra formando un ángulo agudo con el plano de la Falla Caracolicito hacia su terminación occidental, y según su geometría para indicar un cabalgamiento convergencia al noroccidente. Sobre la superficie de esta falla se movilizan vulcanitas jurásicas sobre sedimentos cretácicos. (INGEOMINAS, 2007).

- ***Falla Diluvio – Falla La Piña***

Se localizan al Sur de la Falla Maíz Morocho, con un trazo semi-recto para ambas fallas y dispuestas aproximadamente este-oeste. Presentan un desplazamiento dextro-lateral. Sus terminaciones occidentales son en forma de "colas de caballo" formadas por fallas inversas o cabalgamientos convergencia Noroccidente. Hacia el Oriente, la Falla La Piña termina en "colas de caballo" transpresivas convergentes al Sureste y la Falla Diluvio desarrolla en su bloque Norte un par de duplexas transpresivas orientadas hacia el noreste y convergentes al Sureste. A partir del río Diluvio la traza de la falla parece conectarse con la Falla Golero. (INGEOMINAS, 2007).

- ***Falla Maíz Morocho***

Presenta una trayectoria curva con convexividad hacia el noroccidente, cuya geometría indica un plano inclinado al noroccidente, que se extiende aproximadamente 45 km desde el Sur del municipio del Copey hasta el flanco Sur de la Cuchilla El Golero. Sobre la superficie de esta falla se movilizan principalmente rocas de las formaciones Corual, y Guatapurí contra rocas de la Riolita de Golero y el Batolito de Pueblo Bello. El tramo de esta falla que va a lo largo del cauce de la Quebrada San Rafael tiene dirección general EW y muestra indicios de desplazamiento de rumbo dextro-lateral, como lo muestra la posición de los contactos de la Formación Guatapurí a ambos lados del plano de falla. (INGEOMINAS, 2007).

- ***Falla Ariguancito***

Presenta una trayectoria curvilínea convexa hacia el Noroccidente en su tramo Occidental, con una extensión de aproximadamente 45 Km. Según su geometría se define como una falla

inversa de bajo ángulo o un cabalgamiento, lo cual es evidenciado por la distribución de rocas precámbricas en sus bloques colgante y yacente. Se interpreta pues un movimiento de rumbo-deslizante, y la posición de los contactos a ambos lados del plano indican que el desplazamiento es dextral, de unos cuantos cientos de metros. (INGEOMINAS, 2007).

4 TOPOGRAFÍA

Los siguientes son los parámetros geodésicos utilizados

.

- **Parámetros Geodésicos**

Sistema de referencia:	Bogotá-Magna
Origen de Datum:	WGS84
Elipsoide:	WGS84 (equivalente en la práctica al GRS80)
Semi eje mayor:	6378137.00
Hemisferio:	NW.
Achatamiento:	1/298. 25722356300
Tipo de proyección:	Transversal de Mercator.
Fórmula:	Gauss-Kruger
Longitud de origen:	74° 04' 39.02850" W
Latitud de Origen:	04° 35' 46.32150" N
Falso este:	1000000.00
Falso norte:	1000000.00
Factor de escala:	1.0
Unidad de medición:	Metro Internacional
Datum Vertical:	m.s.n.m. (Buenaventura)
Modelo Geoidal:	Geocol 2004

La labor de topografía se inició el día 2 de noviembre con dos grupos de topografía y el día 6 se incrementaron dos grupos, para un total de cuatro grupos nivelando la línea NG-2D-2019-01 en la zona programada como experimental. Gran parte de esta línea fue nivelada con sistema convencional y un tramo desde la estaca 1160 a 1215 se niveló con GPS sistema RTK. Los equipos empleados en sistema convencional fueron estaciones Leica TS11 y en sistema GPS RTK fueron Leica GS10 de doble frecuencia.



Fotografía 1. Estación Leica TS11



Fotografía 2. Pica ecológica

Tabla 2. Corte y nivelación

CORTE Y NIVELACION	Experimental
Fecha de inicio de la red de GPS	Octubre 23 de 2019
Fecha de inicio corte y nivelación	Noviembre 2 de 2019
Fecha de terminación corte y nivelación	Noviembre 20 de 2019
No. de grupos	4

CORTE Y NIVELACION	Experimental
Días calendario trabajados	18
Total Kilómetros cortados	17.2
Puntos de tiro programa inicial	60
Receptores programa inicial	718
Total puntos (SPs y RPs)	778
Total Líneas 2D	1
Intervalo de Estacas en línea	25 m
Intervalo de Pozos	50 m
Receptores en skip	2
Pozos en skip	0
Observaciones solares	4
Receptores desplazados más de 1 m	44
Puntos de tiro desplazados	133

5 PERFORACIÓN

Se Inicio la perforación de la línea experimental el día 16 de noviembre con 2 cuadrillas terminando el día 17 de noviembre, para un total de 60.

Tabla 3. Perforación de pozos

PERFORACIÓN	Experimental
Fecha de inicio	Noviembre 16
Fecha de terminación	Noviembre 18
No. de grupos	3
Días calendario trabajados	3
Pozos perforados	60

El equipo utilizado fue portátil con motor Honda 5.5 y tractor drill, dadas las condiciones del terreno solo se utilizó aire.

Tabla 4. Equipos perforación

TALADRO	MOTOR	FLUIDO	EQUIPO	SP PERFORADOS	FLUIDO DE PERFORACIÓN
Taladros (3)	Motor Honda 5.5	motobombas	Portátil	60	Agua

Litológicamente se perforó sobre arena finas hasta 9m, después de esta profundidad se encuentra arcillas grises y algunas intercalaciones de arcillas rojas, no presentó nivel freático. A mayores de la línea el espesor de arenas disminuye encontrándose hasta 4-5 m.



Fotografía 3. Grupo de perforación con equipo portátil

En total se perforaron 60 sp´s con los parámetros relacionados en la tabla 4.

Tabla 5. Arreglos a muestrear pozos de la línea experimental

	PROFUNDIDAD (m)			
Carga (g)	10	Cantidad	12	Cantidad
2700	A	10	D	10
3600	B	10	E	10
4500	C	10	F	10

En la figura 3 , se muestra la distribución de cada parámetro de carga y perforación, estos se repiten a lo largo de la línea, teniendo en total 6 set de perforación y cargado

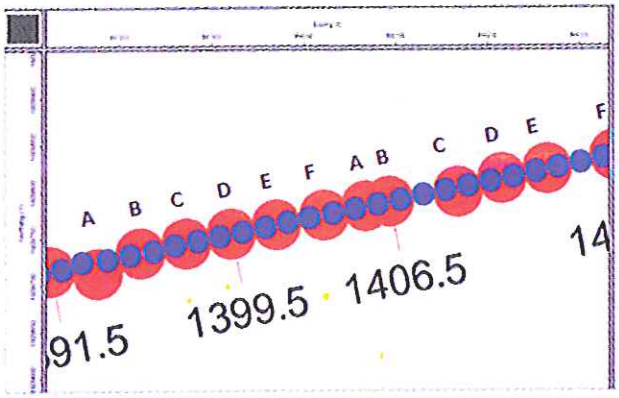


Figura 2. Distribución profundidad y carga

La perforación y el cargado de sp´s fue supervisado por un control de calidad ubicado en cada grupo de perforación.
En el tacado de cada sp se utilizó gravilla en las zonas inundadas y Ecotap en los sectores secos, (Ecotap: sistema ecológico de sellado práctico y seguro, el cual se obtiene después de la reacción producida por la mezcla de dos compuestos inyectados a alta presión obteniendo un producto de alta resistencia y secado rápido).

6 REGISTRO

El interés de la línea experimental se centró en las respuestas del terreno, respecto al tamaño de la carga y la profundidad de la tapa, debido a esto, la línea experimental se niveló sobre la línea ARG-2D-2019 06, extremo oeste, teniendo en cuenta, la ubicación de una zona de baja gravimetría, como se observa en la Figura 4.

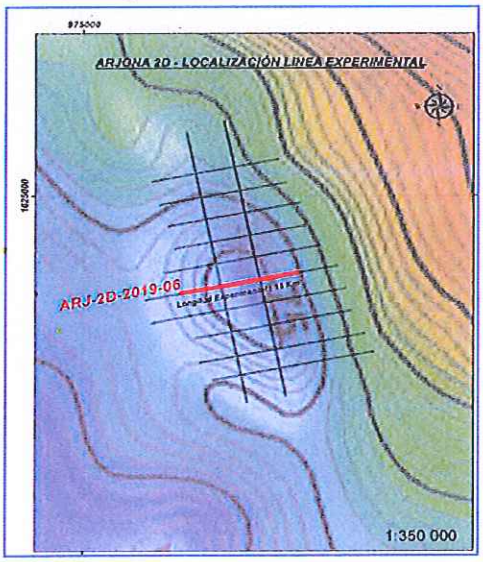


Figura 3. Localización línea experimental sobre anomalía de Bougher

Se inicio la regada el día 20 de noviembre y se terminó el 21 del mismo mes con 1 cuadrilla, control de calidad supervisó el plantado previa inducción específica. El registro de la línea empezó el día 21 de noviembre, este día se registraron 1 sp´s, el día 22 de noviembre culminó el registro de la línea experimental con 59 sp´s y en paralelo se realizó el estudio de movimiento de partículas.

Tabla 6. Parámetros registro

Registro	Experimental
Equipo de registro	Sercel E-unite
Fecha de inicio	21 noviembre
Fecha de finalización	12 noviembre

Registro	Experimental
Cubrimiento (fold)	150
Número de canales	600
Tipo de tendido	Split spread
Tiempo de registro (*)	8020ms
Rata de Muestreo	2ms
Filtro de Corte Bajo	Fuera
Filtro de Corte Alto	0.8 Nyquist, 200 Hz, Fase mínima.
Filtro Notch	Fuera
Medio de Grabación	Discos duros / NAS
Formato de Grabación	(Seg D demultiplexado)
Tipo de Geófonos	Geófonos unitarios
K-Gain	0 dB

El diseño consta de una línea de 600 canales prendidos, con arreglos de 6 pozos con diferentes cargas y profundidad de tacado. Para un total de 60 pozos. El fold alcanzado en la prueba fue 60. Ver figura 5.

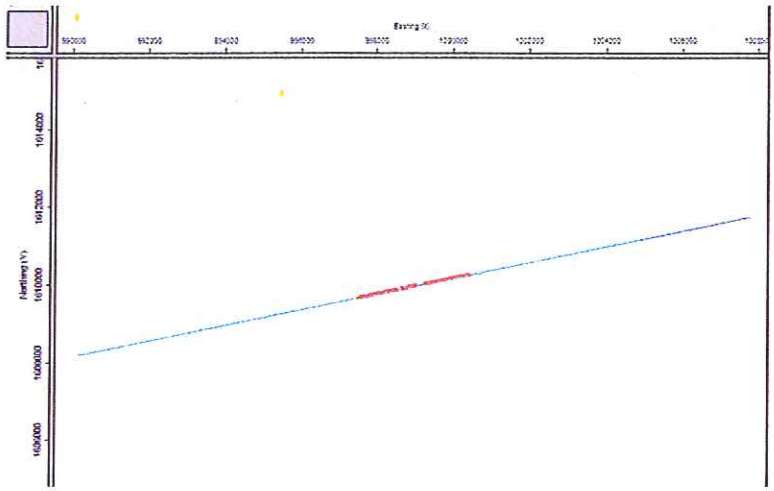


Figura 4. Tendido Split spread sp 1002.5

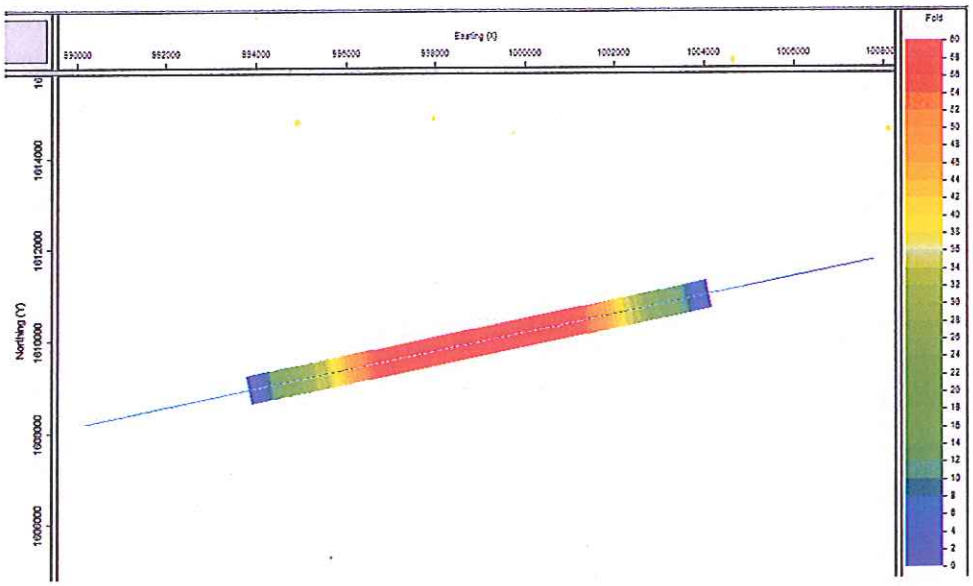


Figura 5. Gráfica de fold

Para los parámetros de los pozos se propone:

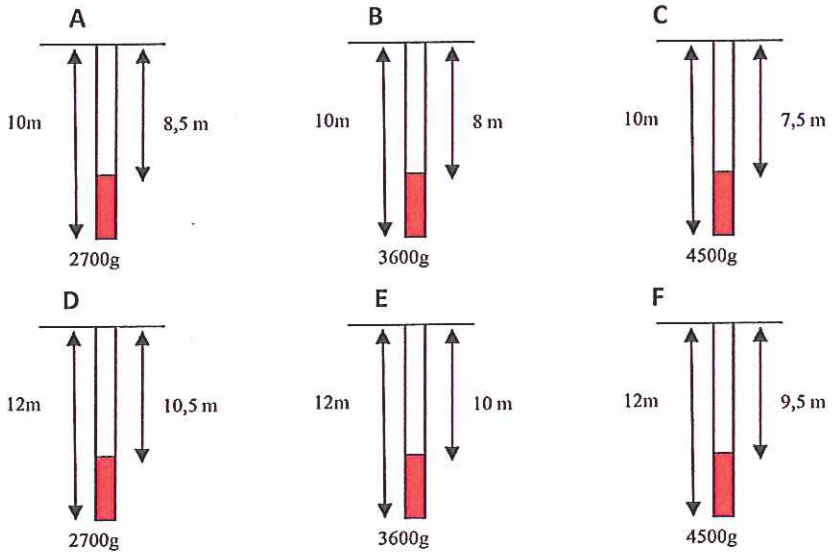


Figura 7. Arreglos diseñados para la prueba experimental de carga y profundidad

Cada pozo ubicado sobre la línea tendrá el orden de 3 pozos de 10 metros seguido de los tres pozos de 12 metros, consecutivamente hasta llegar al pozo número 60. La línea inicia la estaca 1083 y termina en la estaca 1803 con coordenadas como se muestra en la siguiente tabla

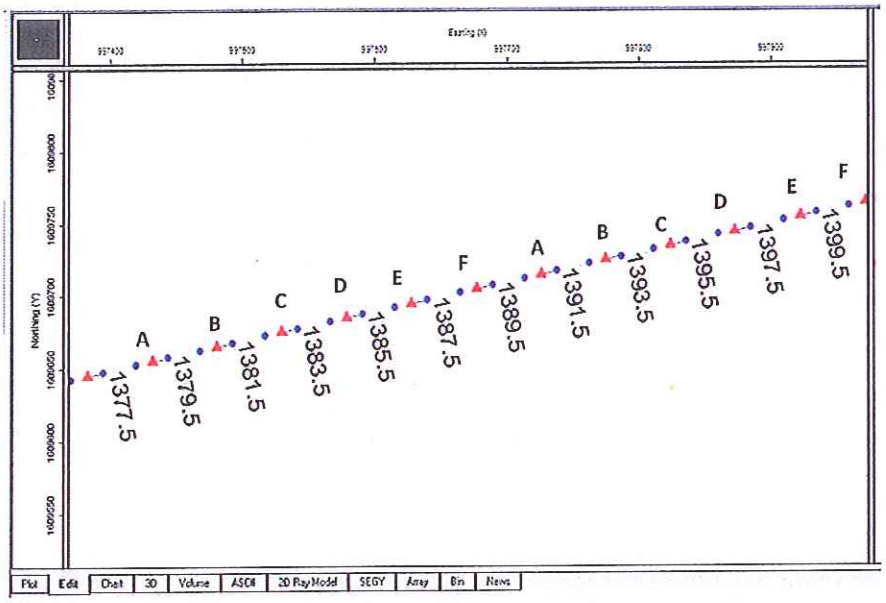


Figura 8. Arreglos de pozos sobre la línea experimental

LINE ARJ-2D-2019-06	COORD X	COORD Y
STK 1083	990166.24	1608185.77
STK 1803	1007809.05	1611753.83

Tabla 7. Trazado de la línea experimental

En total se proponen 60 pozos, cuyos arreglos y cantidades se muestran en la tabla 3.

Profundidad	2700 gramos	3600 gramos	4500 gramos
10 m	10	10	10
12 m	10	10	10

Tabla 8. Arreglos a muestrear pozos de la línea experimental

7 PROCESO

Para lograr determinar los parámetros óptimos de carga y profundidad de pozo que permitan obtener una buena calidad de información se realizó la línea experimental

con 6 configuraciones de carga y profundidades distintas. Así mismo se realizaron análisis espectrales a la señal y al ruido coherente.
A continuación, se muestra la configuración utilizada para las pruebas de parámetros realizadas previamente:

Configuración	Profundidad (m)	Carga (g)	Cantidad
A	10	2700	10
B	12	2700	10
C	10	3600	10
D	12	3600	10
E	10	4500	10
F	12	4500	10

Tabla 9. Configuraciones de carga y profundidad para la prueba experimental.

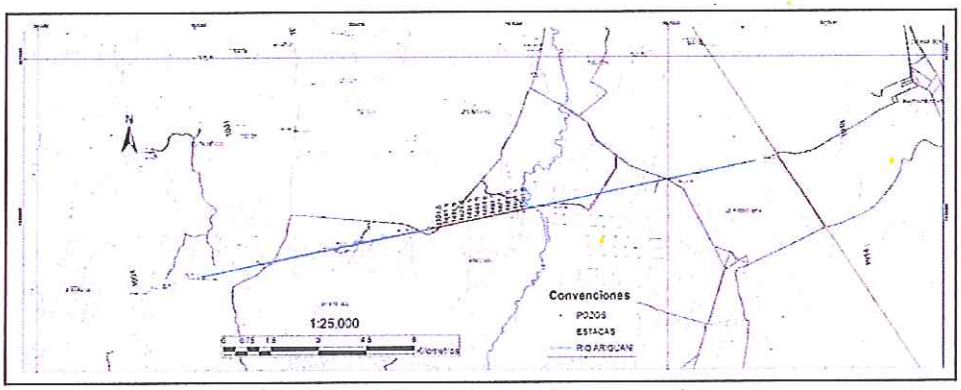


Figura 9. Mapa, Ubicación de la línea experimental.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis de la información adquirida se realizó comparando a nivel de registro, análisis espectral, y apilado para los diferentes parámetros de profundad y carga; observando el comportamiento de los reflectores, amplitudes y relación señal / ruido.

Calidad de la información:
Se observa una óptima relación señal / ruido para estaciones de offsets cercanos, medios y buena en offsets lejanos; los reflectores claros y definidos con una dispersión media del ground roll.

Las principales fuentes de ruido están asociadas a las carreteras, vía férrea y cultivos de palma.

En las siguientes figuras se muestran algunos registros representativos donde se puede apreciar la calidad de la información adquirida de acuerdo con cada parámetro.

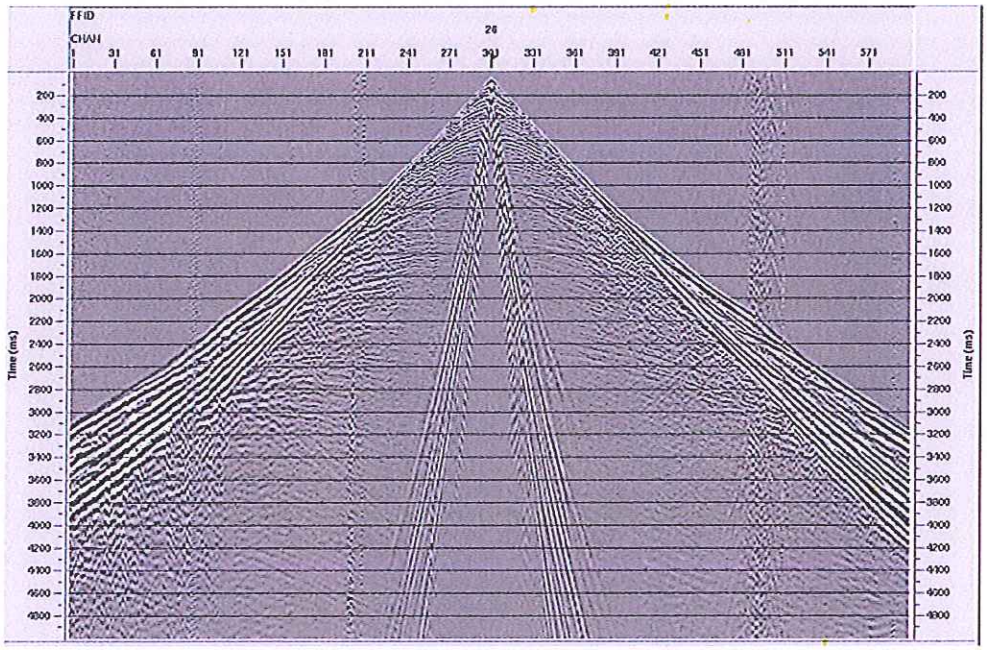


Figura 10. SP 1491.5, Profundidad 10m, Carga 2700g.

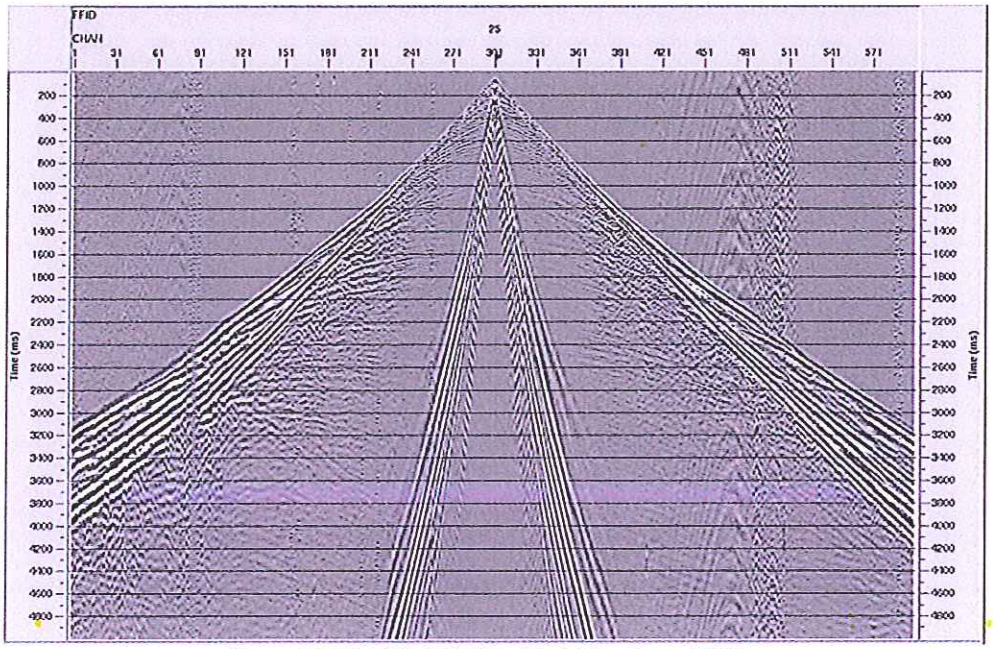


Figura 11. SP 1493.5, Profundidad 10m, Carga 3600g.

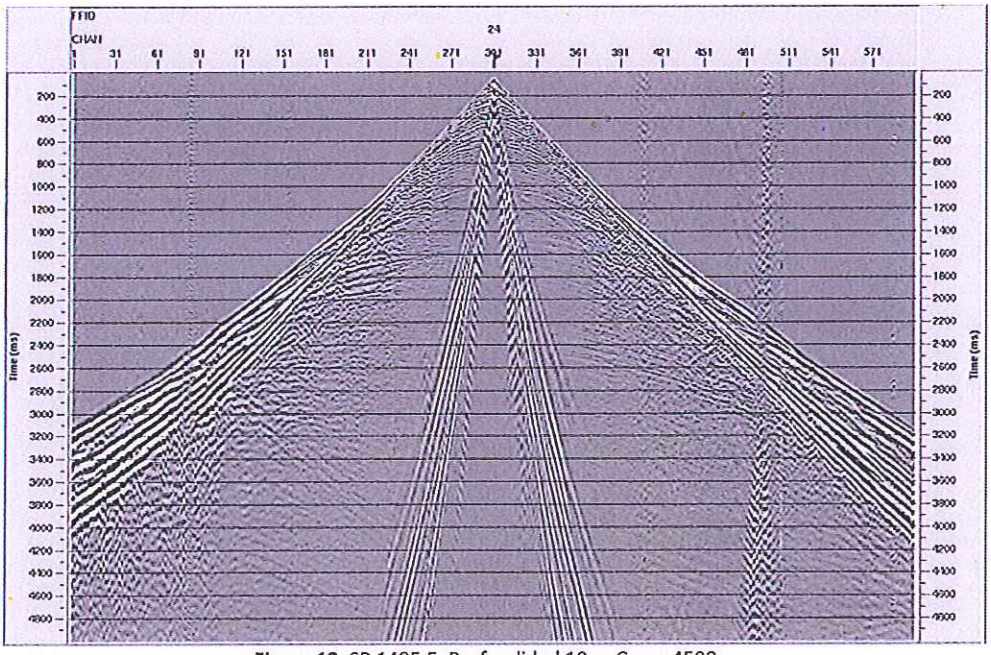


Figura 12. SP 1495.5, Profundidad 10m, Carga 4500g.

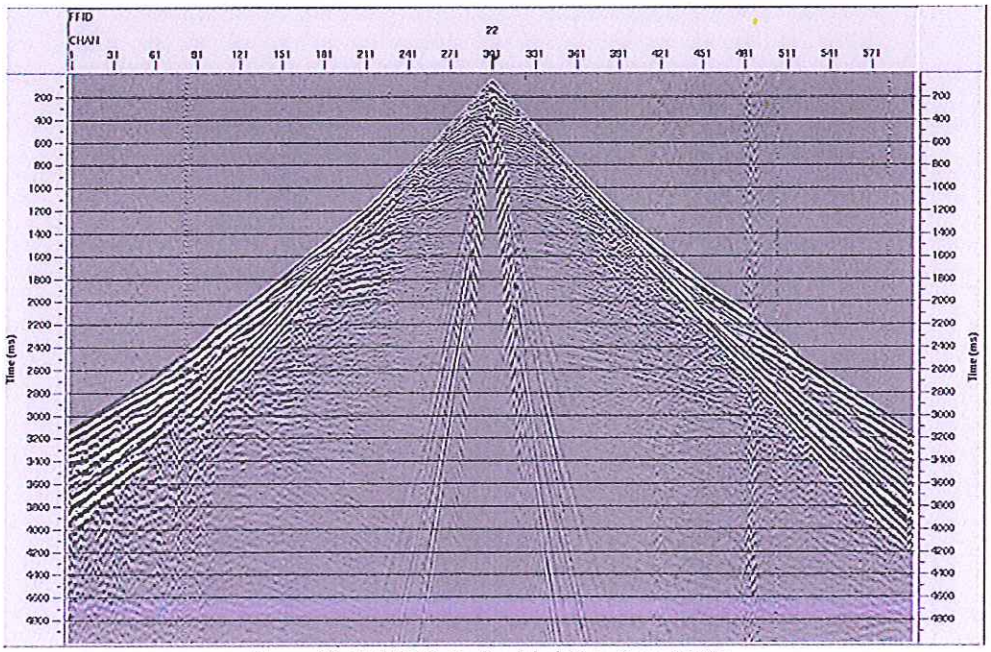


Figura 13. SP 1497.5, Profundidad 12m, Carga 2700g.

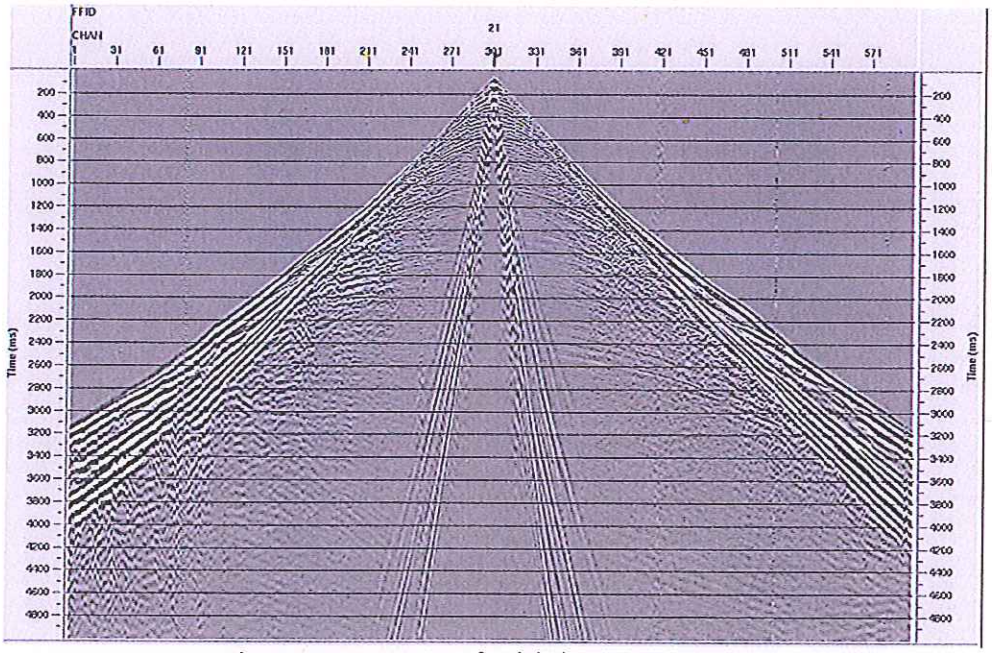


Figura 14. SP 1499.5, Profundidad 12m, Carga 3600g.

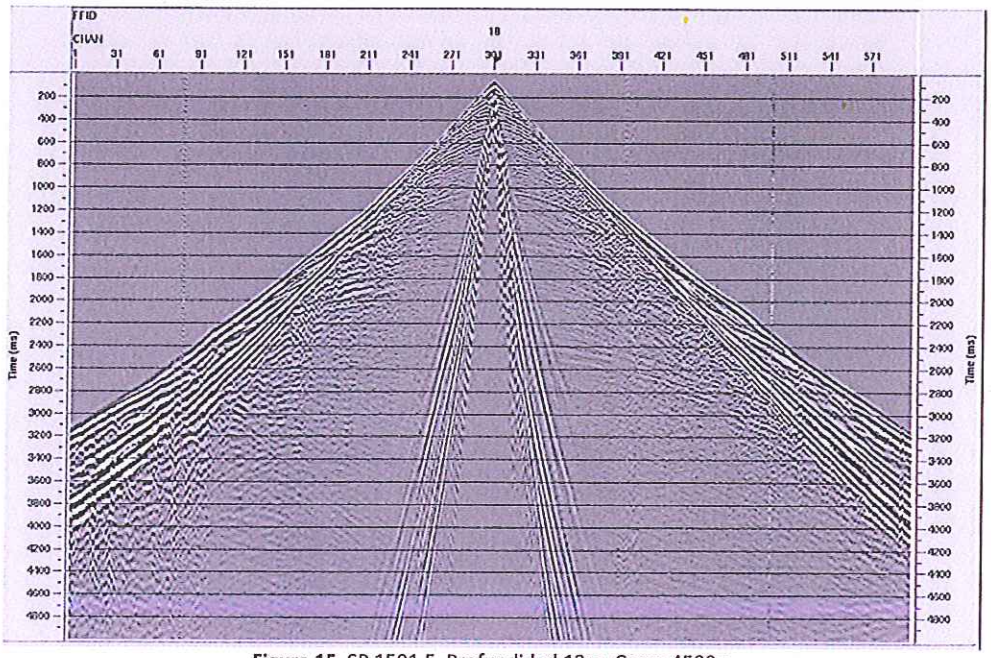


Figura 15. SP 1501.5, Profundidad 12m, Carga 4500g.

Niveles de energía y frecuencias dominantes:

El nivel de energía está directamente relacionado con la geología, la topografía y los parámetros de carga utilizados; los espectros de frecuencia tomados de los registros muestran una buena calidad de la información, la cual está en el rango entre 8 y 50 Hz,

con tendencias predominantes entre 12 y 50 Hz, mientras que el rango de frecuencias del cono de ruido oscila entre 8 y 10 Hz.

De acuerdo al análisis realizado, los registros presentan una buena energía y los primeros arribos están bien definidos en offsets cercanos, medianos y lejanos.

A nivel de registro se observó una buena relación señal/ruido en offsets cercanos, medio y lejanos cuando se utilizaron parámetros con menor carga.

Se evidenció buen contenido de frecuencias, tal como se observa en las figuras a continuación.

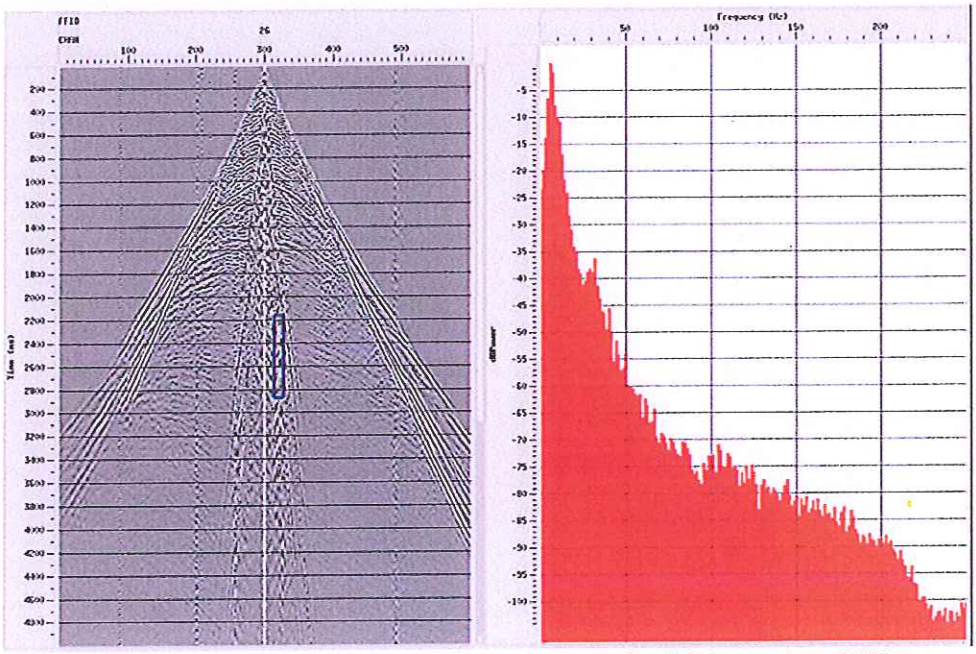


Figura 16. Análisis espectral Ground Roll, SP 1491.5, Profundidad 10m, Carga 2700g.

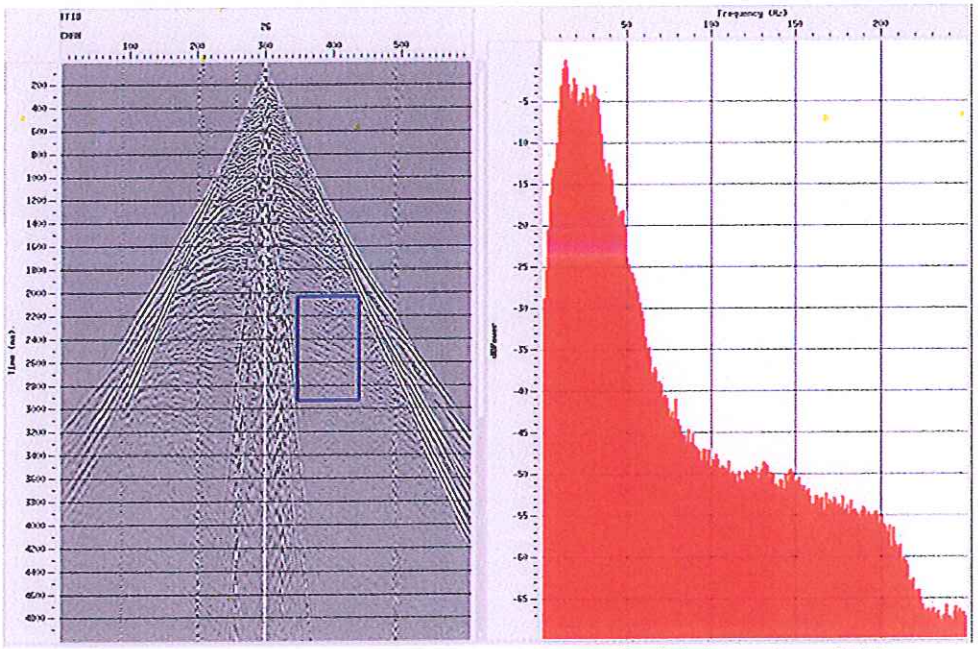


Figura 17. Análisis espectral reflectores, SP 1491.5, Profundidad 10m, Carga 2700g.

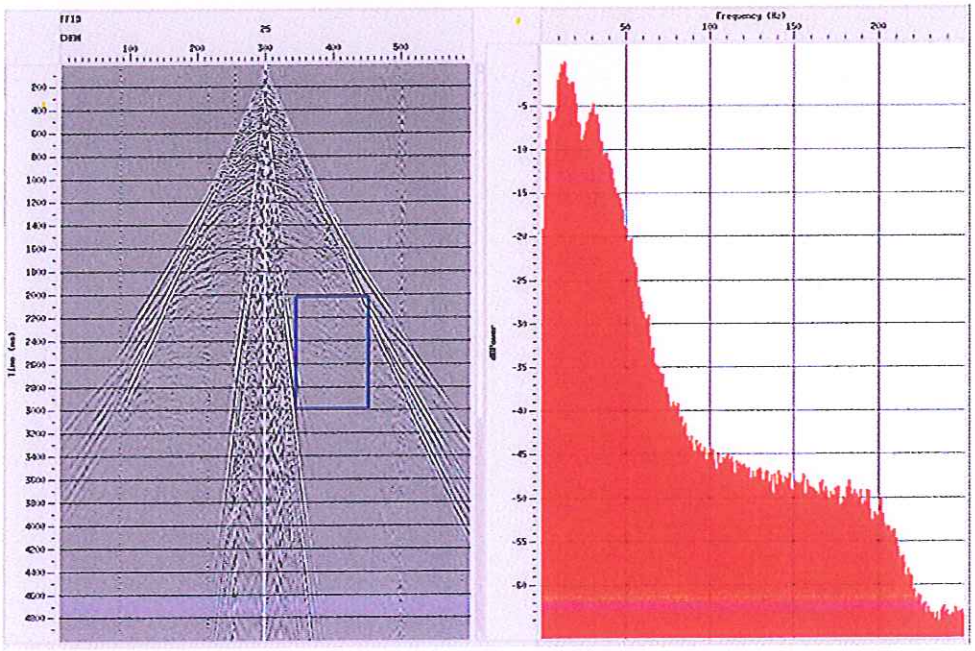


Figura 18. Análisis espectral reflectores, SP 1493.5, Profundidad 10m, Carga 3600g.

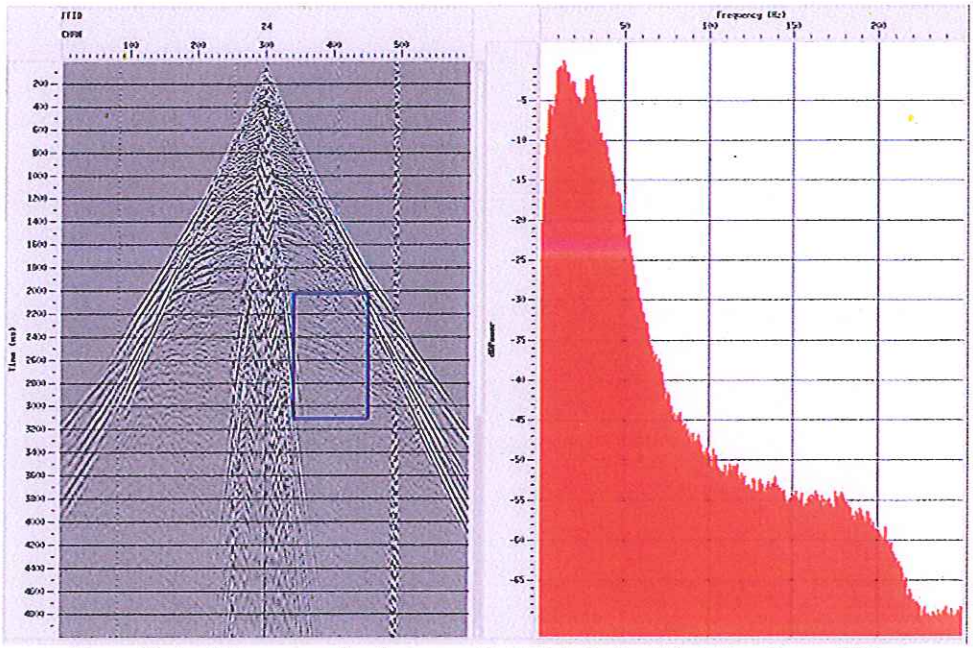


Figura 19. Análisis espectral reflectores, SP 1495.5, Profundidad 10m, Carga 4500g.

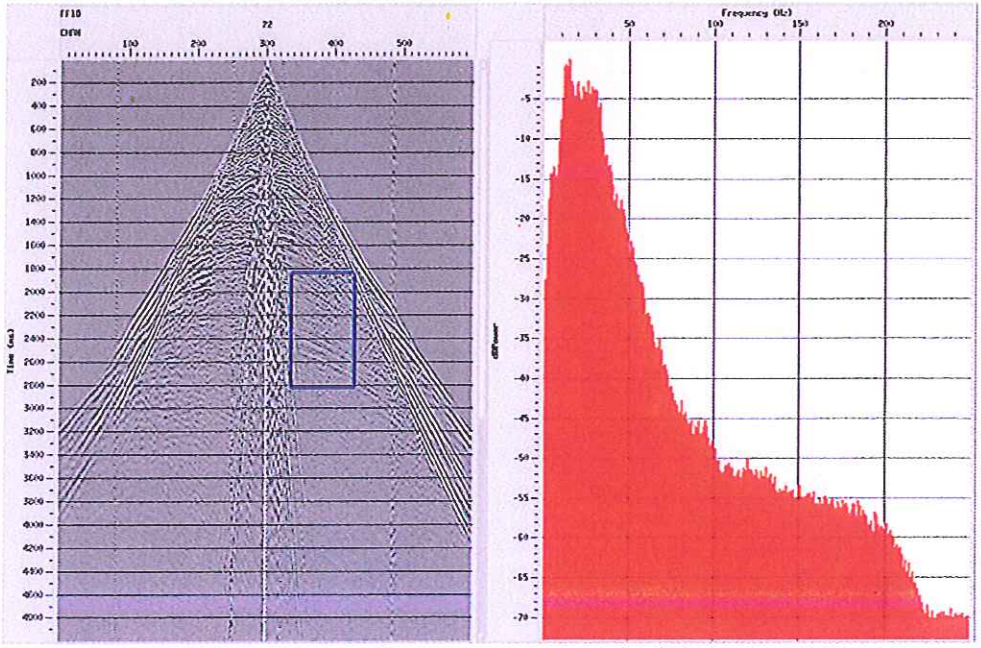


Figura 20. Análisis espectral reflectores, SP 1497.5, Profundidad 12m, Carga 2700g.

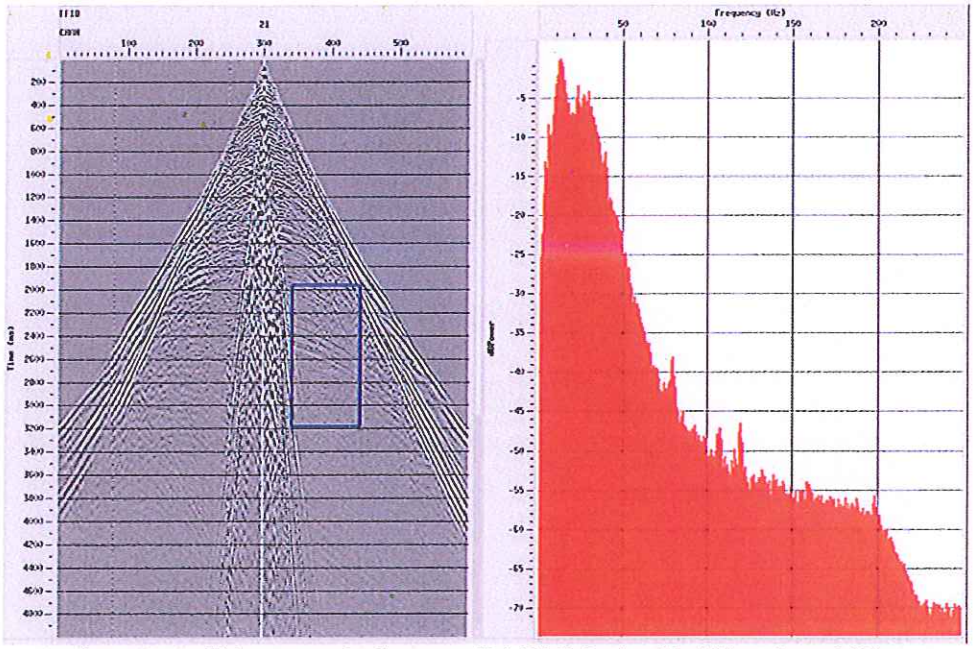


Figura 21. Análisis espectral reflectores, SP 1499.5, Profundidad 12m, Carga 3600g.

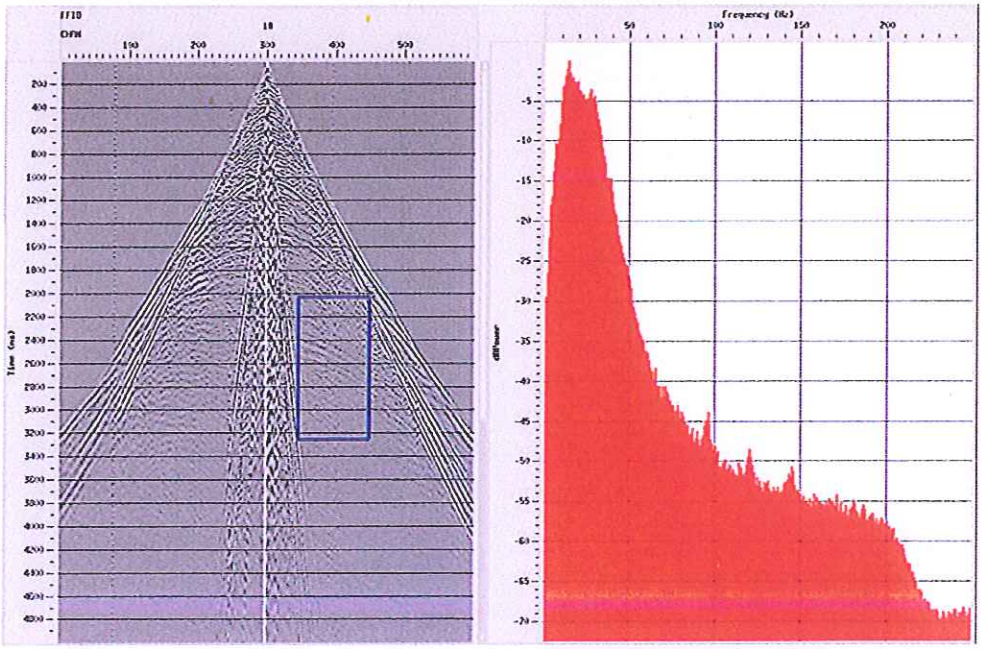


Figura 22. Análisis espectral reflectores, SP 1501.5, Profundidad 12m, Carga 4500g.

APILADOS CON ESTÁTICAS RESIDUALES

La secuencia de procesamiento se diseñó con el propósito de obtener una mejor resolución de los eventos de interés en la zona. Se realizaron pruebas sobre los

parámetros para obtener una secuencia de proceso que lograra dar los mejores resultados de la información registrada. Las pruebas consistieron en:

- Test de frecuencias bajas, altas y banda estrecha.
- Test de recuperación de amplitud verdadera TAR
- Test de deconvolución en fase mínima, tipo spiking y predictiva.
- Test de algoritmos de solución para el cálculo de las estáticas de refracción, como de valores de offset para el picado de los primeros arribos.
-

Con base en los resultados de estas pruebas se obtuvo la siguiente secuencia básica:

Proceso	Parámetros
Conversión formato SEG-D a formato ProMax	
Asignación de Geometría	
Revisión de Geometría	Método de los primeros arribos Teóricos Tiempo primer arribo vs. offset
Edición de Trazas Ruidosas	
Recuperación de Amplitudes	Corrección por Divergencia Esférica: 1/(t*v**2) Corrección dB/s : -6
Deconvolución	Tipo: Predictivo Longitud de Operador: 220 Distancia de Predicción: 24 Operador de nivel de ruido blanco: 0.1%
Filtro Pasabanda	Frecuencias: 8-12-50-90
Estáticas de Elevación	Datum: 150 Velocidad de reemplazamiento: 2400
Estáticas de Refracción	Offset primeros arribos: 150m – 2000m Algoritmo de desplazamiento en el tiempo: Gauss-Seidel Iteraciones: 5
Estáticas Residuales	3D Max. Power Autostatics: Maximum statics allowed(ms): 10,15,20,30
Análisis de Velocidad	Tipo: Velocidades Constantes Intervalo de análisis: 300m
Corrección por NMO	Stretch mute: 30%
Apilado	Aplicaciones estáticas de Refracción Aplicación estáticas Residuales

Aplicada la secuencia se observó la calidad de la información teniendo en cuenta la variación del cubrimiento, las distancias fuente-receptor y continuidad de los

reflectores; se evaluaron las ventajas y desventajas de la secuencia y se aplicaron las correcciones necesarias.

El proyecto está ubicado sobre unidades Terciarias, de las cuales se obtuvo información de buena calidad, evidenciada por la presencia de reflectores continuos. El rango de frecuencias de la información se enmarca entre 10 a 50 Hz La velocidad de las ondas que componen el ground roll alcanzó valores hasta de 470 m/s con un promedio de 440 m/s con un rango de frecuencias de 8 Hz hasta 12 Hz; los primeros arribos mantuvieron a lo largo del proyecto valores entre 1850 a 1900 m/s.

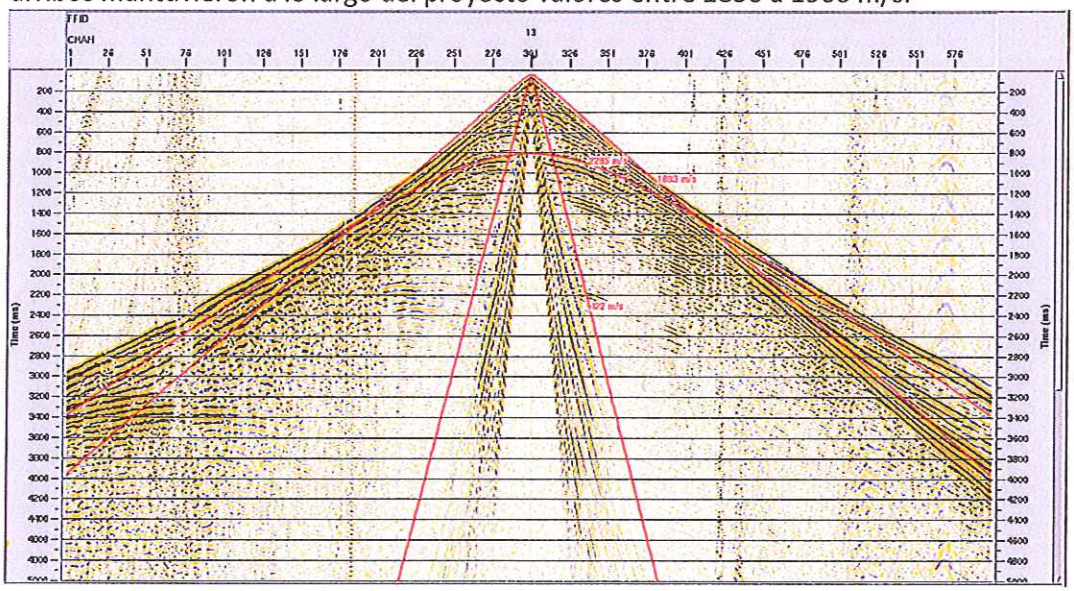


Figura 23. Velocidades Características, SP 1395,5, 10m x 2700g, 5s.

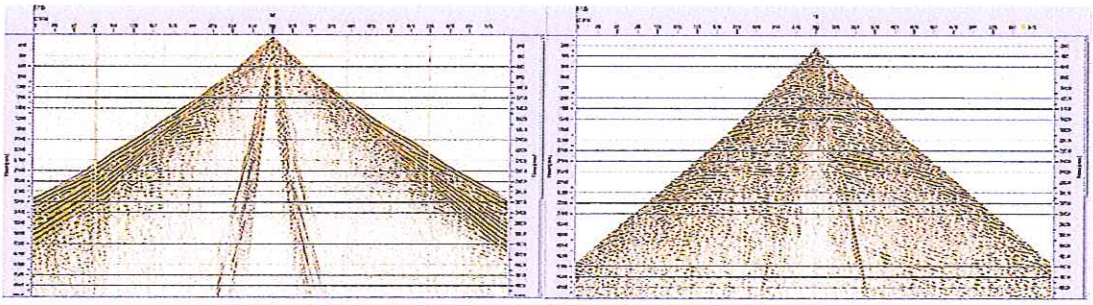


Figura 24. Comparación secuencia de preproceso. SP 1501,5.

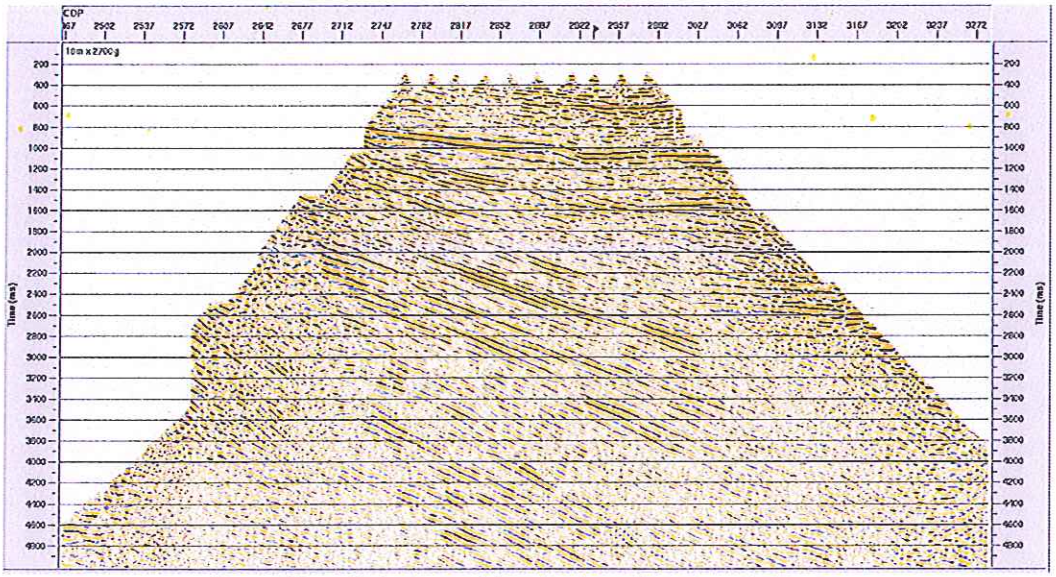


Figura 25. Apilado con Estáticas de Elevación, 10m x 2700g, 5s.

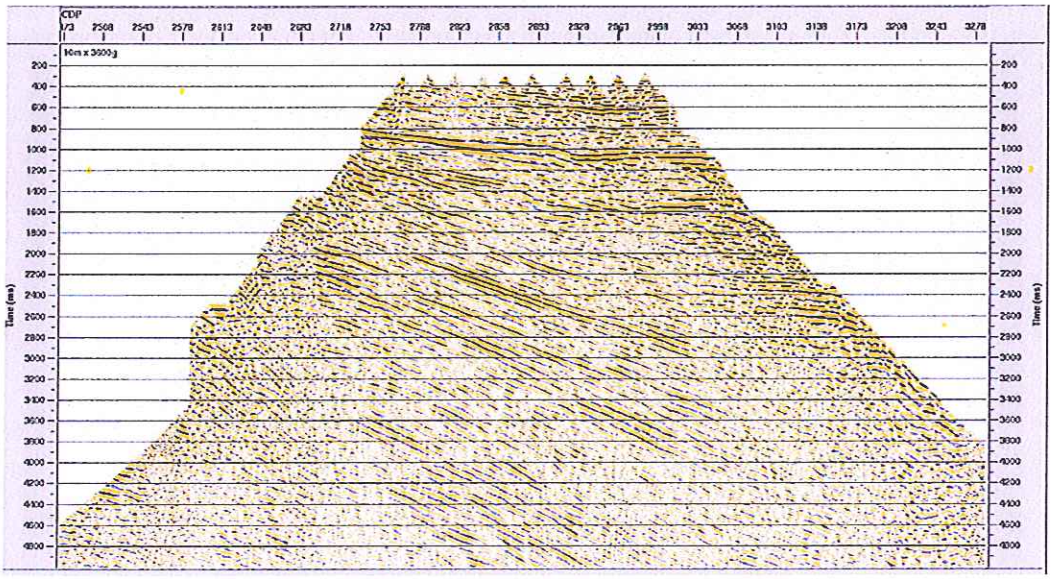


Figura 26. Apilado con Estáticas de Elevación, 10m x 3600g, 5s.

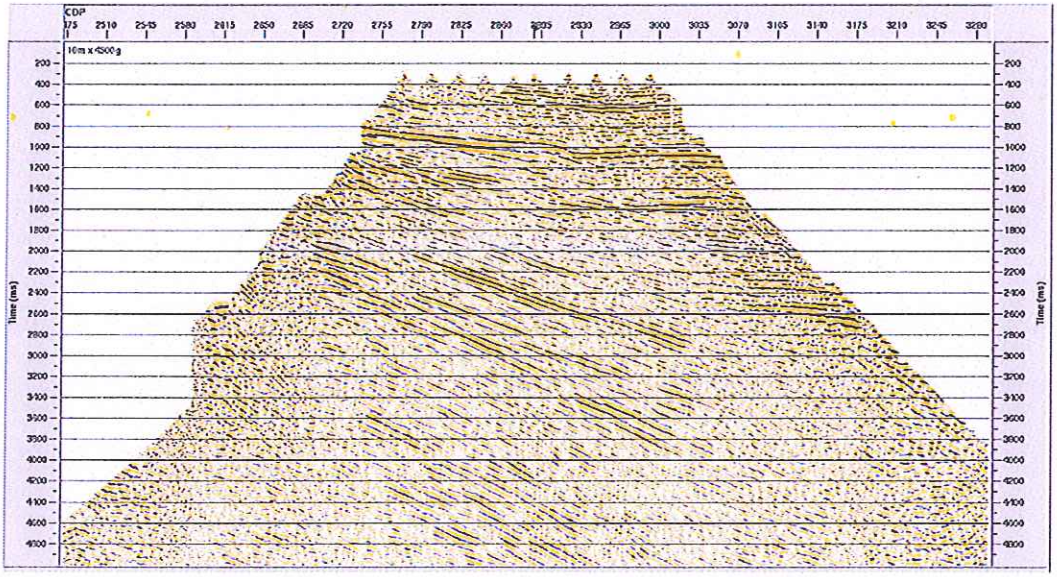


Figura 27. Apilado con Estáticas de Elevación, 10m x 4500g, 5s.

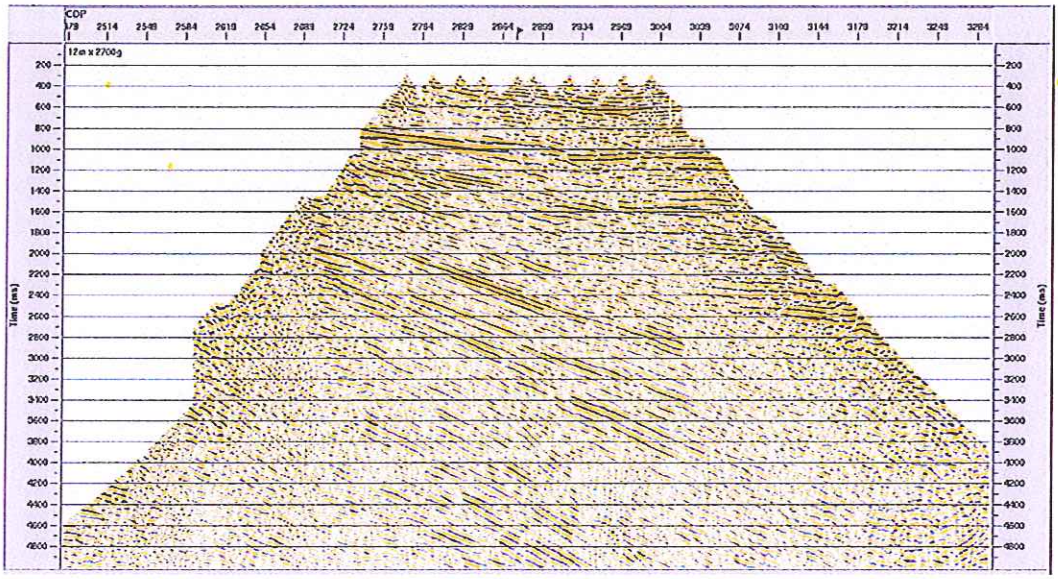


Figura 28. Apilado con Estáticas de Elevación, 12m x 2700g, 5s.

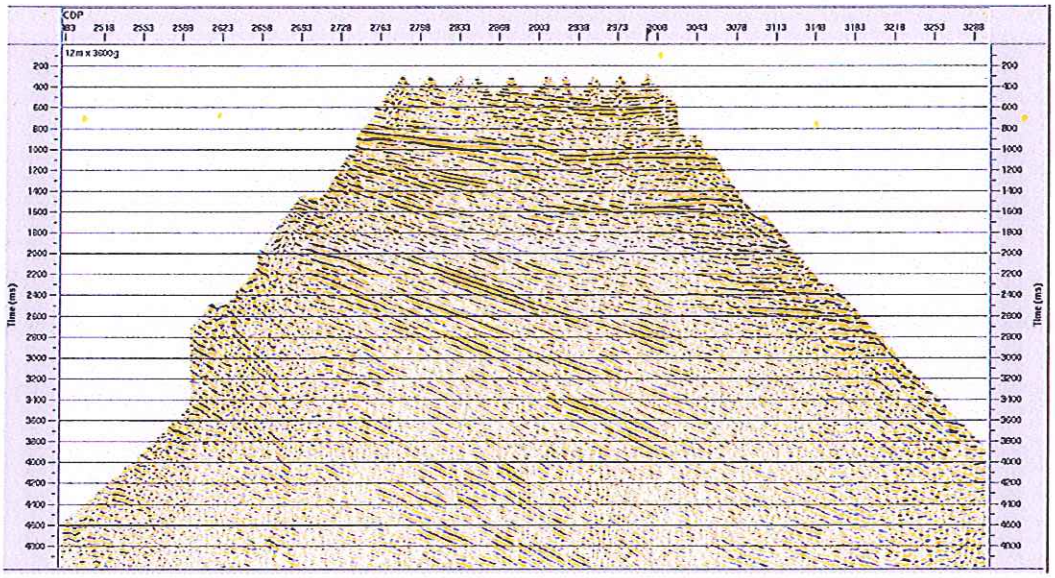


Figura 29. Apilado con Estáticas de Elevación, 12m x 3600g, 5s.

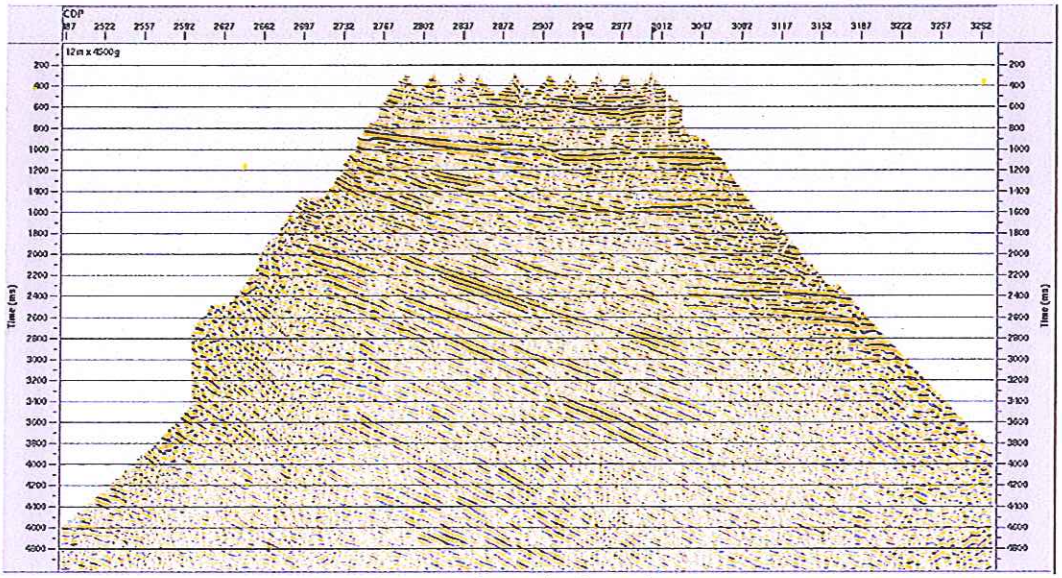


Figura 30. Apilado con Estáticas de Elevación, 12m x 4500g, 5s.

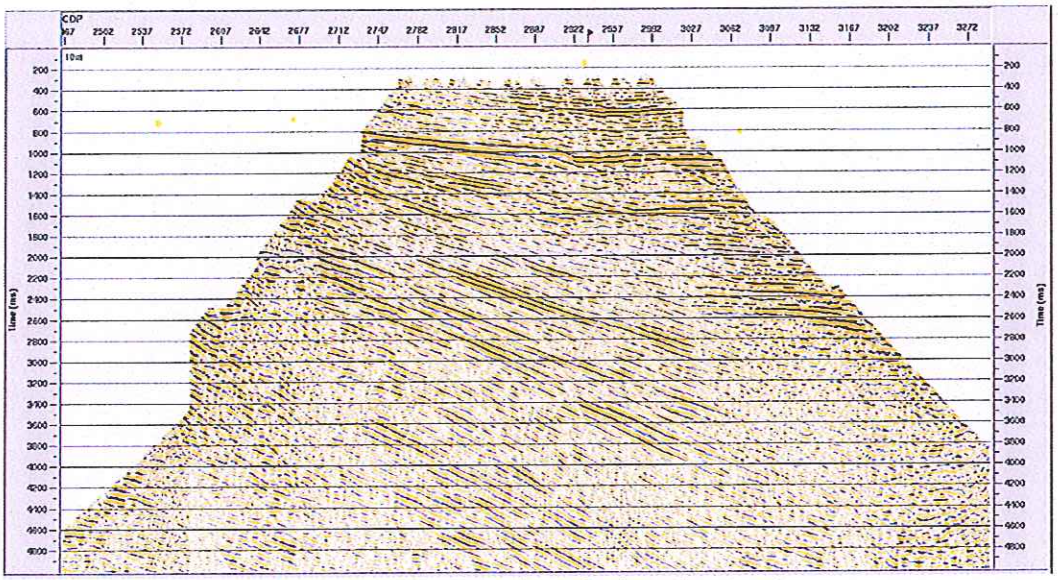


Figura 31. Apilado con Estáticas de Elevación, 10m, 5s.

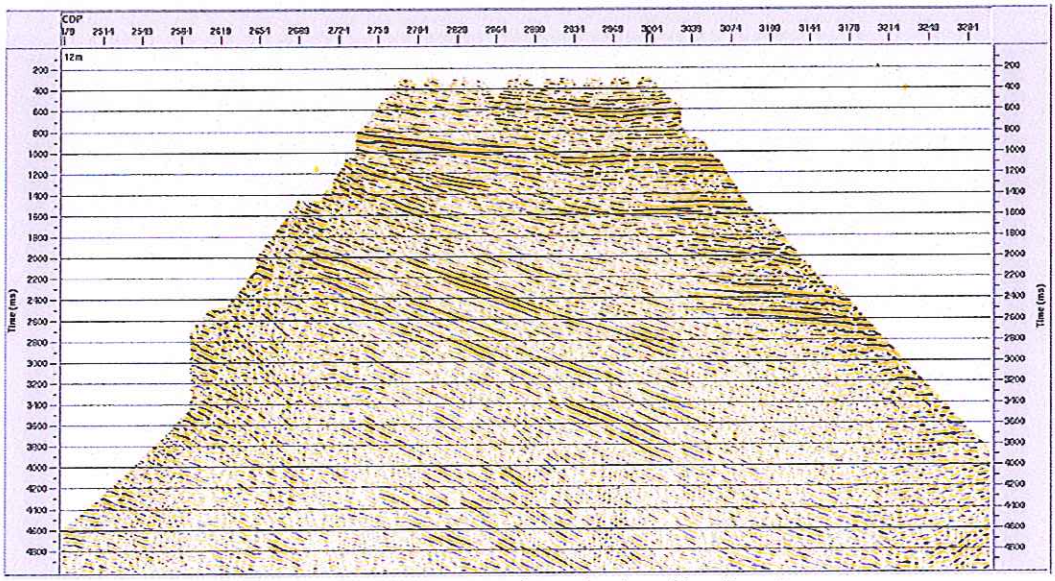


Figura 32. Apilado con Estáticas de Elevación, 12m, 5s.

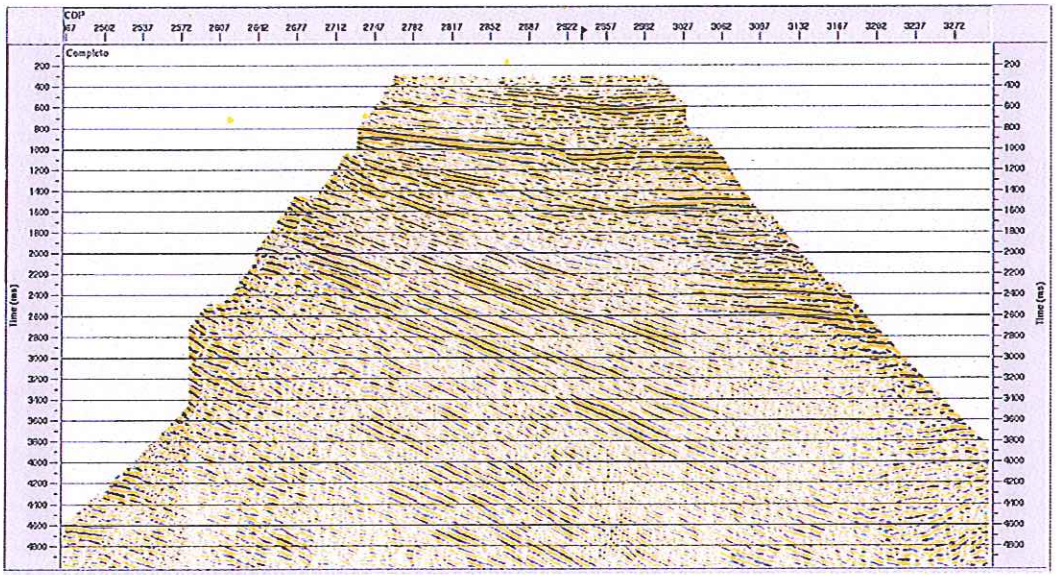


Figura 33. Apilado con Estáticas de Elevación, Completo, 5s.

RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede apreciar buenos niveles de energía para los offset cercanos, medios y lejanos con una carga de 2700g. se puede apreciar una buena definición del ground rol en términos de velocidad y frecuencia. A nivel de registro las refracciones están claramente definidas. Los datos referentes a los reflectores tienen buena coherencia y continuidad encontrando información hasta los 4500ms.

Luego del análisis de los resultados relacionados con los parámetros de carga y profundidad a emplear en el programa sísmico **ARJONA 2D** se ha tomó la siguiente decisión:

PARÁMETRO DEFINIDO	
Profundidad	10m
Carga	2700g

VECTOR GEOPHYSICAL

ANH AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS

MONITOREO

VELOCIDAD DE PARTÍCULAS

ARJONA 2D 2019

EL COPEY - CESAR

033

VECTOR GEOPHYSICAL

ANH AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS

INDICE

1. Introducción

2. Objetivo

3. Equipo de Monitoreo

4. Parámetros de Normativas Internacionales

5. Consideraciones Técnicas

6. Metodología del Monitoreo de Velocidad de Partículas

7. Conclusiones de las Mediciones realizadas en la Línea Experimental

1. INTRODUCCIÓN

La simple caída de un objeto sobre la tierra, hasta la detonación de un explosivo enterrado, o un deslizamiento súbito a lo largo de una falla geológica en profundidad causando un sismo, son eventos que se transmiten a través de los suelos o rocas.

Una parte importante para el control de las vibraciones causadas por las diferentes fuentes de energía empleadas en varios sectores de la industria como minería, estudios sísmicos y obra civil se logra con la aplicación de normativas con el objeto de controlar las ondas que son generadas al aplicar dichas fuentes (explosivos, vibradores, martillos magnéticos, maquinaria, etc).

Este análisis permite monitorear las distancias de seguridad utilizadas en el Proyecto, las cuales permitirían realizar la adquisición sísmica de forma segura para las personas, estructuras civiles y sitios de interés natural (pozos de agua, piletas/bebederos, etc) presentes en el área del proyecto Arjona 2D.

Para la grabación de los datos se empleó un sismógrafo Micromate, el cual cuenta con un sensor de tres componentes ortogonales que fue empleado en las pruebas de inicio para verificar que las distancias mínimas de seguridad empleadas en el proyecto Arjona 2D se encuentran dentro de los límites permisibles según las normas vigentes en la industria.

2 OBJETIVO

Mediante los eventos registrados durante la adquisición de la Línea Experimental se verificará que las distancias de seguridad permitidas cumplen los requerimientos establecidos por las normativas DIN 4150 y UNE 22- 381, las cuales son reconocidas a nivel internacional por tener un amplio cubrimiento a posibles afectaciones generadas por las detonaciones de explosivos o la aplicación de alguna otra fuente de energía al suelo dentro del área del estudio.

3 EQUIPO DE MONITOREO

El equipo utilizado para la grabación de los eventos, en la medición de la velocidad de partículas a diferentes distancias de la fuente de energía, fue Micromate *de Instantel* (*Imagen 1*). La herramienta principal del equipo es un geófono triaxial (*Imagen 2)*, el cual mide la velocidad con la que se mueven las

partículas (en cada una de sus tres componentes ortogonales) como consecuencia de la vibración del suelo.



Figura 1. Equipo Micromate.

El equipo Micromate tiene una resolución de 0.00788 mm/s con un rango de error de ±5% (±0.5 mm/s). Se usó un sistema disparador de grabación que se activa manual o automáticamente al alcanzar un nivel preestablecido de velocidad de vibración del suelo, cuyo valor es 0.51 mm/s. El sismógrafo deja de grabar cuando dicha velocidad es inferior a este valor durante dos segundos continuos.

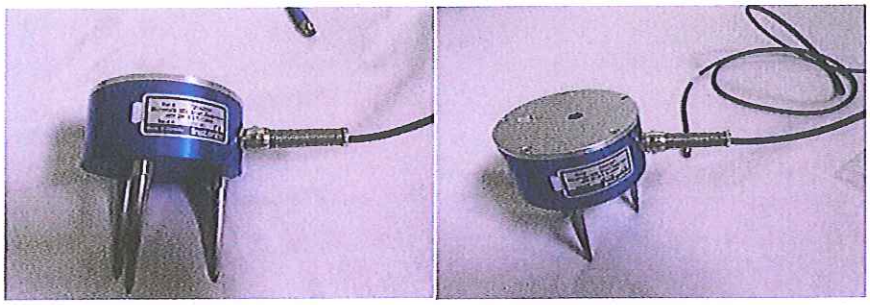


Figura 2. Sensor Triaxial del Micromate.

El geófono triaxial del Micromate se compone de los sensores y el transductor. Los sensores responden a la vibración externa, mientras que el transductor se encarga de convertir la respuesta del sistema en señal eléctrica. El sensor de vibraciones registra la velocidad del movimiento en el lugar que se encuentre fijo, lo

cual es ventajoso debido a que las normas establecidas para el control de vibraciones están establecidas con base en la velocidad de la vibración.

4 Parámetros de Normativas Internacionales

Norma Alemana DIN 4150

La norma alemana tuvo mucha repercusión en el territorio europeo ya que esta norma sirvió de guía para la realización de otras normas en Europa, un ejemplo de esto es la norma UNE 22-381 que tomo como guía a la norma alemana DIN4150 como modelo para la elaboración de una norma en España que permita controlar todo el tema de vibraciones ligado a explosivos.

La norma DIN4150 tiene una subdivisión muy parecida a la norma UNE 22-381 en lo que respecta a la clasificación de los tipos de estructuras que se pueden ver afectados, y obviamente también analiza rangos de frecuencias para diferentes velocidades.

La norma tiene 3 clases definidas, las cuales son:

- Edificios resistentes a vibraciones.
- Viviendas.
- Construcciones históricas sensibles a vibraciones.

En la siguiente tabla 2 podemos ver como son analizados los rangos de frecuencia y la velocidad de partícula que afecta al tipo de estructura, como la velocidad de partícula comprendida en ese rango.

La velocidad de la partícula en vibración viene definida por diferentes rangos de valores que van de acuerdo con el tipo de estructura que tengamos lo que la norma DIN 4150 ejemplifica claramente en su clasificación, tenemos diferentes rangos de frecuencia de vibración como podemos verlos aquí en la tabla 10.

	0 - 10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100 Hz
TIPO DE ESTRUCTURA	Velocidad mm/s		
Edificios resistentes a vibraciones	20	20 - 40	40 - 50
Viviendas	5	5 - 15	15 - 20
Construcciones históricas sensibles a vibraciones	3	3 - 8	8 - 10

Tabla 1. Norma DIN 4150

Valores muy altos se verán afectando las estructuras más altas o mejor dicho los edificios más altos, ya que por el fenómeno de la oscilación estos son los más afectados.

En la figura 3 podemos ver como la norma DIN 4150 relaciona la frecuencia con las velocidades picos de la partícula y a su vez muestra cómo va relaciona con el tipo de estructura, frecuencias en Hz.

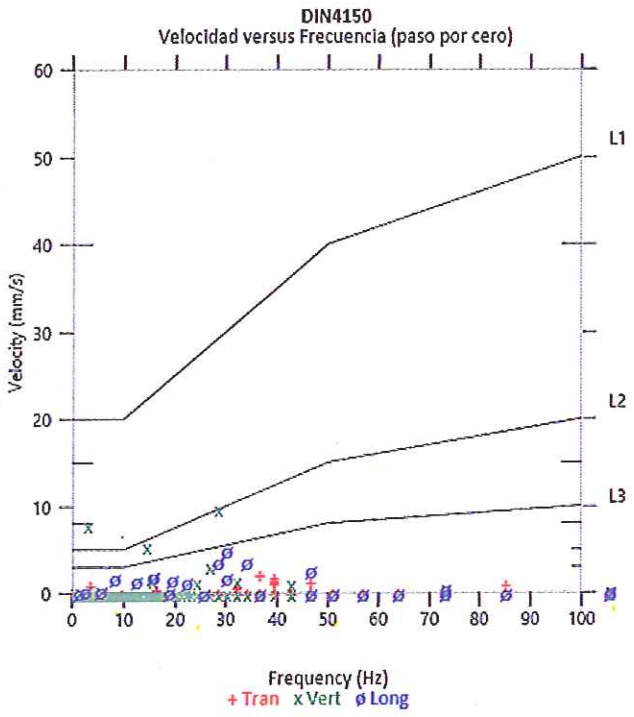


Figura 3. Norma DIN 4150

La primera curva es para los edificios sensibles a vibraciones, la segunda referida a viviendas habitadas por personas y la última para estructuras resistentes a vibraciones sísmicas.

Cálculo de la velocidad de partícula según la norma DIN 4150

La norma DIN 4150 proporciona estimaciones de cómo se espera que la velocidad se transmita dependiendo del tipo de terreno que esta tenga. Ya que dependiendo del tipo de terreno que tengas las ondas P y S suelen cambiar como se propagan.

Según Arthur Nilson (análisis estructural) la onda S en suelos blandos tiende a intensificarse caso contrario a un terreno rígido donde la onda tiende a debilitarse.

La norma alemana DIN 4150 también nos proporciona datos sobre como la vibración ataca la estructura, la fuerza ataca la estructura como una fuerza cortante, aclarando que esto se refiere a la fuerza que tiende a cortar perpendicularmente la estructura.

En los siguientes gráficos podemos ver como la norma DIN 4150 contempla esta fuerza, caso que no se da en las otras normas por ejemplo la norma UNE 22-381

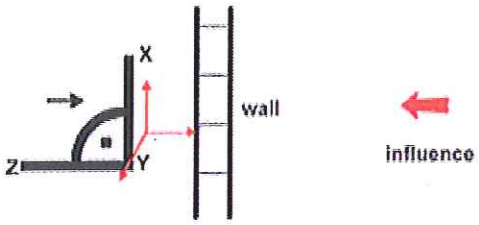


Figura 4. Fuerza cortante a un muro- Norma DIN 4150

Se puede notar claramente como la influencia de la fuerza es en dirección perpendicular a la estructura.

Norma Española UNE 22-381-93

La Norma UNE 22-381 es la norma que controla todo lo que tiene que ver con la utilización de explosivos en España, esta norma se apoya en la norma Alemana DIN 4150 ya que antes de esta norma era la alemana que se aplicaba en España.

Esta norma se ejecuta en todos los trabajos que se lleve a cabo la utilización de explosivos como eje central de la actividad, dentro de estos tipos de trabajos tenemos: Minería, obras de carreteras, demolición de edificios, remoción de terreno a gran escala etc.

Como ya es sabido la norma UNE 22-381 nos presenta una clasificación de las estructuras, las cuales son:

- Grupo I: Edificios y naves industriales.
- Grupo II: Edificios de viviendas, oficinas, centros comerciales y de recreación, edificios de estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que por su fortaleza no representan sensibilidad a vibraciones sísmicas.
- Grupo III: Estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que si presentan debilidad contra vibraciones sísmicas.

En los siguientes recuadros podemos ver para la relación que la norma española estudia la frecuencia en tres espacios comprendidos; entre 2 y 15 Hertz, luego entre 15 y 75 Hertz y las que pasen los 75 Hertz, también nos muestra el tipo de edificio o estructura que se verá afectado por este.

La norma UNE 22-381 presenta diferentes variaciones con respecto a la velocidad como podemos ver en el recuadro donde se expone cómo va la velocidad en función con la frecuencia a que esta esté sometida, donde tenemos un valor mínimo y un valor máximo comprendido entre esas frecuencias.

En la tabla 11 se puede observar los valores máximos para la seguridad de la estructura en función del tipo de estructura que se vea afectada por las vibraciones, por lo que se entiende que la vibración no podrá exceder la velocidad que se indica en la tabla siguiente:

	2 - 15 Hz	15 - 75 Hz	> 75 Hz
TIPO DE ESTRUCTURA	Velocidad mm/s	Desplazamiento mm	Velocidad mm/s
I: Edificios y naves industriales ligeras con estructuras de hormigón armado o metálicas	20	0,212	100
II: Edificios de viviendas, oficinas, centros comerciales, edificios de estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que por su fortaleza no representan sensibilidad a vibraciones sísmicas	9	0,095	45
III: Estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que si presentan debilidad contra vibraciones sísmicas.	4	0,042	20

Tabla 2. Norma UNE 22-381

En figura 5 se puede observar una gráfica que muestra la relación de la Frecuencia con la velocidad pico según la norma UNE 22-381, dependiendo del tipo de frecuencia y su velocidad también podremos saber si cumple con el requisito para el grupo de edificio que se encuentra cerca.

Este grafico va asociado a lo que se conoce como criterio de prevención de daños.

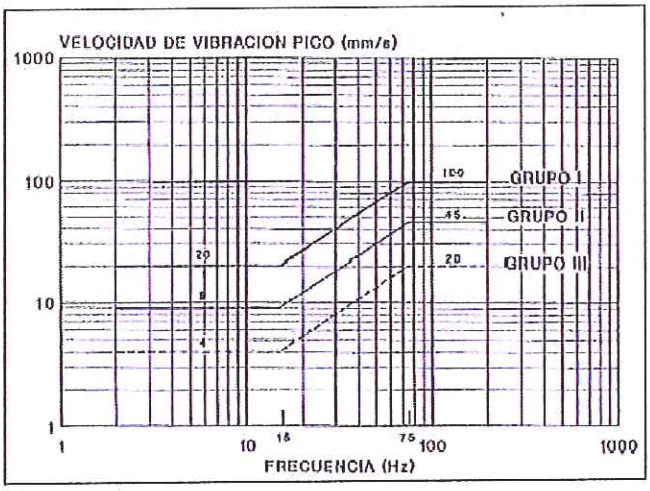


Figura 5. Norma UNE 22-381.

La norma UNE 22-381 dependiendo de cómo actué la distancia de la carga con la posible área afectada, relacionando esto con la carga corregida nos recomendara que tipo de estudios debemos hacer antes de someter la voladura a su ejecución, dichos estudios son los siguientes:

- Proyecto tipo:

La carga operante de explosivo es tan baja para la distancia que las ondas emitidas tras la explosión no presentan peligro por lo que presentando el grafico y el punto de la voladura para la norma UNE 22-381 sería suficiente.

- Proyecto de control de vibraciones:

Implica la medición del nivel de vibración de una voladura en el punto definido. En este tipo de estudios tienen que obtenerse una cantidad de datos importantes los cuales son:

- Carga Operante
- Carga por cada secuencia y secuencia empleada en la misma
- Distancia a la estructura
- Velocidad de vibración pico para cada componente y frecuencia asociada.
- Ubicación del punto de disparo y de donde se coloca el sismógrafo
- Breve descripción del terreno
- Datos técnicos del sismógrafo
- Estudio preliminar.

Es necesario en circunstancias de trabajo tales que sea necesario conocer todas las características del terreno y sus propiedades geofísicas. Un ejemplo de esto es cuando tenemos distancias muy cerca de las estructuras y una carga operante apreciable, se necesitaría conocer todas las características geofísicas importantes del terreno para poder obtener una ley de transmisión de onda para esa voladura en esas condiciones. Medir la onda en sus componentes transversal, longitudinal y vertical.

Según la norma UNE 22-381 nos define los 3 tipos de suelo de la siguiente manera:

Formación rocosa dura: aquella cuya velocidad sísmica es superior a 4000 m/s

Formación rocosa media: aquella cuya velocidad sísmica está comprendida entre 2000 m/s y 4000 m/s

Formación rocosa blanda: aquella cuya velocidad sísmica es inferior a 2000 m/s.

5 Consideraciones Teóricas

La prospección con métodos sísmicos consiste en explorar el subsuelo mediante ondas sísmicas. Analizando las ondas registradas se espera obtener información de las propiedades elásticas y morfológicas del medio de propagación. La energía de deformación elástica liberada por una fuente sísmica se propaga por el subsuelo mediante ondas. Según el espacio en que se propagan existen ondas superficiales y ondas de cuerpo.

Las ondas superficiales sólo se originan y propagan cerca de la superficie entre dos medios con propiedades elásticas diferentes. Las más importantes son las que se propagan cerca de la superficie del suelo y entre las que se cuentan las ondas Rayleigh (R) y las ondas Lowe (L) (Figura 2.1). Las ondas de cuerpo se propagan a través de todo el volumen de material elástico. Cuando el material del subsuelo es isótropo sólo pueden propagarse dos tipos de ondas de cuerpo: las ondas P y las ondas S (Figura 2.2).

Las ondas P, también conocidas como ondas primarias, siempre presentan mayor velocidad que las ondas S y las ondas superficiales, por lo que son las primeras en llegar a cualquier distancia de la fuente. Se caracterizan porque el movimiento de las partículas del suelo al paso de la onda sigue la misma dirección en que se propaga. Las ondas S, conocidas como ondas secundarias, presentan menor velocidad que las ondas P y se caracterizan porque el movimiento de las partículas es en una dirección ortogonal a la dirección en que se propaga la onda.

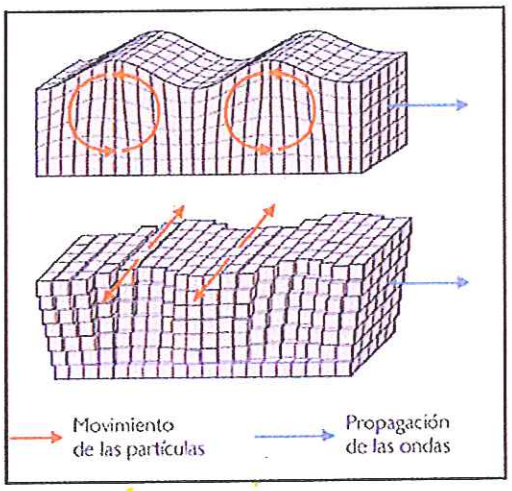


Figura 6.1 Ondas R y L.

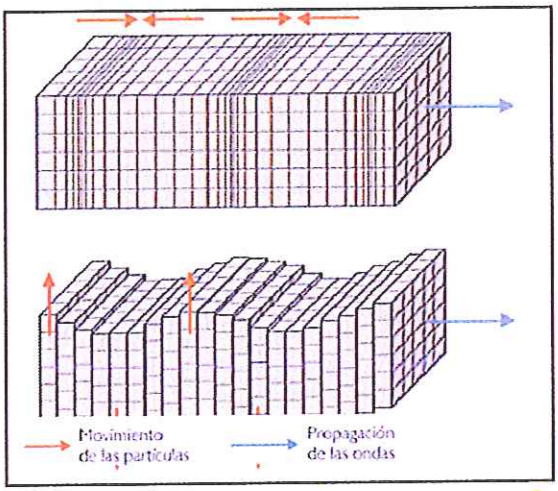


Figura 6.2 Ondas P y S.

La propagación de ondas en el suelo se traduce en la producción de vibraciones en mayor o menor escala. Resulta importante destacar que la amplitud y la frecuencia de estas vibraciones disminuyen conforme se

alejan de la fuente. Este fenómeno se debe básicamente al principio de conservación de la energía, a la dispersión armónica y a la resistencia propia del medio. Un fenómeno similar ocurre con las altas frecuencias, ya que la naturaleza dispersiva de la tierra produce amortiguamiento de altas frecuencias, por lo que éstas se extinguen más rápidamente que las frecuencias bajas conforme las ondas se propagan en el subsuelo.

Más allá de las distancias de seguridad, existen otros factores que aumentan la probabilidad de que una infraestructura sufra daños como consecuencia del impacto de las ondas sísmicas transmitidas a través del suelo, como lo son la duración de las vibraciones, cantidad de oscilaciones a las que es sometida, resistencia de los materiales, calidad en la construcción, mantenimiento y conservación de la misma, entre otras.

6 Metodología del Monitoreo de Velocidad de Partículas

Los registros de velocidad de partículas se adquieren colocando el Sismógrafo Micromate a diferentes distancias para cada uno de los pozos (Figura 6).

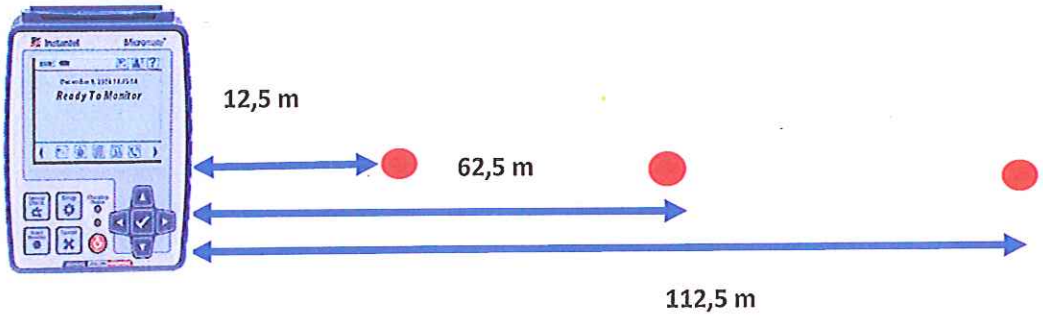


Figura 7. Ejemplo de posición Micromate vs Pozos a adquirir.

El equipo adquiere cada evento de manera precisa con fecha y hora para poder identificarlo con las distancias de alejamiento en cada evento registrado. El geófono triaxial fue plantado firmemente al terreno, tomando en cuenta que el canal longitudinal ubicado en el plano horizontal estuviera con rumbo

hacia la fuente, el canal transversal ubicado en el plano horizontal con rumbo de 90° respecto a la dirección de la fuente y el canal vertical ubicado en el plano ortogonal al plano horizontal. (Figura 7).



Figura 8. Posicionamiento equipo Minimate

Luego de estar ubicado el sismógrafo y con la fuente lista para dar inicio al proceso de grabación, se activa el equipo Micromate para adquirir los datos de velocidad de partícula. En la siguiente tabla 12 se puede ver las ubicaciones y distancias medidas con cada uno de los patrones a estudiar.



Figura 9. Adquisición de eventos.

		Distancia (m)/ Ubicación sensor						
Sp	Parámetro	12.5	25	37.5	62.5	75	87.5	112.5
1389.5	12*2700							1395.5
1391.5	12*3600				1394.5			
1393.5	12*4500	1394.5						
1395.5	10*2700	1395.5						
1397.5	10*3600				1395.5			
1399.5	10*4500							1395.5
1467.5	10*2700	1467.5						
1469.5	10*3600				1467.5			
1471.5	10*4500							1467.5
1473.5	12*2700	1473.5						
1475.5	12*3600				1473.5			
1477.5	12*4500							1473.5

Tabla 3. Relación de distancias con ubicación del sismógrafo Micromate.

Como se evidencia en los datos procesados las distancias medidas y las velocidades obtenidas nos permiten apreciar que las mediciones de mayor afectación son las muestreadas a menor distancia porque sus bajas frecuencias presentan mayor amplitud. Los demás PPV monitoreados presentan amplitudes bajas para bajas frecuencias por lo tanto no ocasionan daños a las estructuras.

7 Conclusiones de las Mediciones Realizadas en la Línea Experimental

En función de las observaciones realizadas mediante las mediciones se concluye que:

- La norma DIN 4150 es la más restrictiva para velocidades de partículas en estructuras que presenten problemas a velocidades de vibración y por el predominio que existe en la zona de

este tipo de estructuras lo más conveniente para el desarrollo de una norma propia, seria apoyarse en la norma Alemana DIN 4150.

- Las mediciones realizadas a menor distancia, con patrones de carga bajos muestran que se afectarían las estructuras cercanas al punto de la detonación con posibilidad de daños estructurales o cosméticos de estas.
- Los eventos con mayor distancia sin importar la carga o profundidad cumplen con todos los aspectos de las normas empleadas en este estudio.
- Que en los eventos a distancias de 12.5 metros, no se cumplen las normas para los dos primeros grupos de estructuras pero que si pueden ser implementadas si la estructura se encuentra en el grupo uno: Estructuras industriales o sismorresistentes.
- La implementación de los estudios de la velocidad de partículas facilita confirmar y proponer las distancias más adecuadas y dentro de las normas de voladuras vigentes que impidan ocasionar daños a las personas, estructuras y sitios naturales presentes en el área de trabajo.
- En el primer caso que es el que trata los edificios resistentes, se puede observar que la más restrictiva en frecuencias bajas es la norma UNE 22-381, y en ambas normas se cumplen los parámetros de distancias seguro para este tipo de edificaciones.
- Se puede determinar que las distancias empleadas para realizar el estudio sísmico Arjona 2D cumple con los estándares de las Normas DIN4150 y Criterio de prevención UNE 22-381.
- Las cargas operantes en el proyecto sísmico Arjona 2D, están por debajo de los umbrales de daño estipulados por las normas, lo que quiere decir que las viviendas mas cercanas al sitio de la voladura no pueden ser afectadas estructuralmente eliminando los posibles conflictos con los habitantes de la comunidad de influencia del proyecto.
- La realización de monitoreos previos a la adquisición sísmica permiten analizar la velocidad de la partícula la cual reconoce la posibilidad que esté por encima o por debajo de los umbrales de daño estipulados en las normas durante las detonaciones.