

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**SISMOGRAFOS EN PROSPECCIÓN SÍSMICA**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**CARLOS AUGUSTO CASTILLO MARTÍNEZ**

**PROMOCIÓN**

**1981 – I**

**LIMA – PERÚ**

**2008**

# **SISMOGRAFOS EN PROSPECCIÓN SISMICA**

## SUMARIO

El presente informe explica como los Sismógrafos son utilizados en la búsqueda de petróleo llamado también Prospección Sísmica; el método sísmico aplicado es el de reflexión, técnica geofísica importante por su gran precisión, alta resolución y gran penetración.

Las denominadas ondas P son las primeras en llegar a los geófonos en un estudio sísmico por reflexión; la fuente para generar las ondas pueden ser explosivo o camiones vibradores y la técnica para adquirir los datos pueden ser sísmica bi direccional (2D) ó sísmica tridimensional (3D).

Los primeros sismógrafos analógicos fueron desarrollados para adquirir datos 2D; a partir de los años 1980 los sismógrafos fueron incorporando telemetría en sus equipos electrónicos de campo lo que les permitió enviar y recibir desde el sismógrafo gran cantidad de datos a grandes distancias, fue el inicio de la adquisición de datos 3D con tendidos cortos.

El sismógrafo analógico ha evolucionado al sismógrafo digital; el geófono analógico también ha evolucionado al digital, el geófono digital recién esta ingresando a los estudios sísmicos con altos costos operativos.

Los datos adquiridos para su posterior procesado son grabados en cintas o disco duro siguiendo un formato de grabación aprobado por la Sociedad de Exploración Geofísica (SEG); el formato vigente es el SEG D Demultiplexado.

La actividad sísmica terrestre y marina en el mundo se viene desarrollando a ritmo acelerado; la necesidad de diseñar nuevos sismógrafos por la profundidad donde se encuentran las nuevas estructuras con reservas de petróleo, la aplicación de tecnología de punta en perforación para llegar a esas profundidades, hacen que el precio internacional del barril de petróleo sea alto.

## INDICE

### CAPITULO I

#### GENERALIDADES

1.1	Objetivo	2
1.2	Ondas P	2
1.3	Ondas S	3
1.4	Ley de Snell	4
1.5	Teorema del Muestreo	4
1.6	Frecuencia de Nyquist	5
1.7	Esquema General de los Métodos Sísmicos	6
1.7.1	Método de Refracción	6
1.7.2	Método de Reflexión	7
1.8	Geometría de la Trayectoria superficial Horizontal	9

### CAPITULO II

#### ADQUISICION DE DATOS

2.1	Conceptos	10
2.2	Parámetros Tabla 2.1	11
2.3	¿Como se forman los hidrocarburos?	14

### CAPITULO III

#### EQUIPOS PARA SISMICA TERRESTRE

3.1	Fuentes de Energía para Sísmica Terrestre	15
3.1.1	Dinamita	15
3.1.2	Vibradores sobre Vehículos	16
3.2	Geófonos	19
3.2.1	Geófonos Analógicos	19
3.2.2	Ristras	23
3.2.3	Geófonos Digitales	25
3.2.4	Equipo de Prueba de Geófonos	26
3.3	Electrónica de Campo	27
3.3.1	Caja Electrónica Telemétrica por Cable	27
3.3.2	FDU:	29

3.3.3	LAUX:	30
3.3.4	LAUL:	31
3.3.5	Cable Transverso:	31
3.3.6	Cable Link:	32
3.3.7	Especificaciones de las Unidades de Campo	33
3.4	Sismógrafo Analógico	34
3.5	Sismógrafo Digital	36
3.6	Parámetros del Sismógrafo	39
3.7	Especificaciones Técnicas del sismógrafo Sercel 428	40
3.8	Pruebas Instrumentales a los Sismógrafos	41
3.9	Monitores de Campo	44
3.10	Equipos Periféricos	46
3.10.1	Encoder	46
3.10.2	Plotter	46
3.10.3	Nas	47
3.11	Equipo de Disparo ó Decoder	48
3.12	Procesado de Datos de Campo	50
<b>CAPITULO IV</b>		
<b>FORMATO DE GRABACION SEG</b>		
4.1	Descripción del Encabezado	55
4.2	Encabezado General	55
4.3	Encabezado Tipo Escáner	56
4.4	Encabezado Extendido (opcional)	58
4.5	Encabezado Externo (opcional)	58
4.6	Encabezado de la Traza Demultiplexada	59
<b>CONCLUSIONES</b>		60
<b>ANEXOS</b>		61
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		69

## PROLOGO

El Informe denominado "Sismógrafos en Prospección Sísmica" tiene por objetivo describir los fundamentos de la adquisición de datos en un Estudio Sísmicos 3D con un sismógrafo para representar gráficamente estructuras del sub suelo; explicamos las principales ondas que se usan en los estudios por refracción y reflexión, el muestreo de una señal análoga y la frecuencia de Nyquist.

Para adquirir datos se generan ondas que viajan por el sub suelo se reflejan en las capas del sub suelo y son recibidas por geófonos plantado en la superficie; estos geófonos transmiten la señal recibida del sub suelo a cajas electrónicas que almacenan la información en memoria; luego las cajas electrónicas reciben comandos desde el sismógrafo para que envíen sus datos; el sismógrafo graba todos los datos de las cajas electrónicas de campo en discos duros (Nas) y a la vez la unidad periférica plotter presenta gráficamente la información grabada en disco duro.

Los sismógrafos para ordenar los datos adquiridos son cargados con parámetros, por ejemplo tiempo de grabación, filtros y configuración de tendido.

El sismógrafo presentado es el Sercel 428 del fabricante Sercel Francia, año 2007, el mas avanzado actualmente; explicamos su funcionamiento, electrónica de campo (FDU, LAUX, LAUL), sus periféricos LCI, Plotter, Nas, impresora, SQC Pro interconectados por una red de alta velocidad.

La información grabada en disco duro esta ordenada de acuerdo a un formato, el formato de grabación que actualmente se usa como estándar es el SEG D en todos los sismógrafos, explicamos como están divididos los campo dentro del formato.

Los datos grabados en el sismógrafo posteriormente son llevados a un Centro de Procesado donde se le aplican diversos algoritmos que finalmente permiten imprimir imágenes de las estructuras del sub suelo.

El aporte del informe es presentar una metodología para obtener imágenes de las estructuras del sub suelo que serán analizada por geofisicos para determinar la posibilidad que los datos de las estructuras grabadas contenga petróleo usando el sismógrafo mas avanzado el Sercel 428 con sus periféricos.

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 Objetivo**

En Exploración sísmica el problema es conocer la profundidad a la que se haya el estrato reflector que da origen a la reflexión, este estrato reflector puede ser una estructura geológica que tenga probabilidades de contener petróleo; una forma de conocer la profundidad de la estructura es generando una onda sísmica y lograr medir el tiempo que tarda está onda en viajar hasta llegar a varios receptores, si además conocemos la velocidad de la onda sísmica, entonces podemos reconstruir su trayectoria.

La palabra sísmica es usada en la exploración de petróleo porque el frente de ondas se genera a partir de una explosión que ocasiona pequeños movimientos en el sub suelo similar a los que ocasionan un sismo ó terremoto; el tiempo de reflexión es medida por receptores plantados a cierta distancia de la fuente de ondas llamado geófonos y la información de los geófonos finalmente se graba en un equipo electrónico llamado sismógrafo.

Para generar el frente de ondas por explosión se hace un pozo de 15 a 30 mts. de profundidad y se carga con dinamita, se detona con un equipo electrónico llamado decoder; las ondas generadas se propagan a través de la tierra; el sub suelo es compuesto por diversos materiales elásticos, incluso las rocas son consideradas elásticos con deformaciones muy pequeñas, este medio elástico permite que las ondas se propaguen y se reflejen.

Las ondas son perturbaciones que viajan a través del sub suelo, tienen una trayectoria, fase y frecuencia; las dos formas de onda que están relacionadas con perturbaciones que viajan a través de cuerpos sólidos son la llamada ondas P que implican cambio de volúmenes y la llamada ondas S cambio rotacional.

#### **1.2 Ondas P**

Llamadas también onda dilatacional, longitudinal, compresional es el primer evento que se registra en un terremoto, el desplazamiento es perpendicular al frente de ondas y

paralelo a la dirección de propagación, son las primeras en llegar a los sismogramas donde se representa tiempo versus distancias, se grafica en la fig.1.1.

La onda P es la onda dominante en el estudio de exploración sísmica

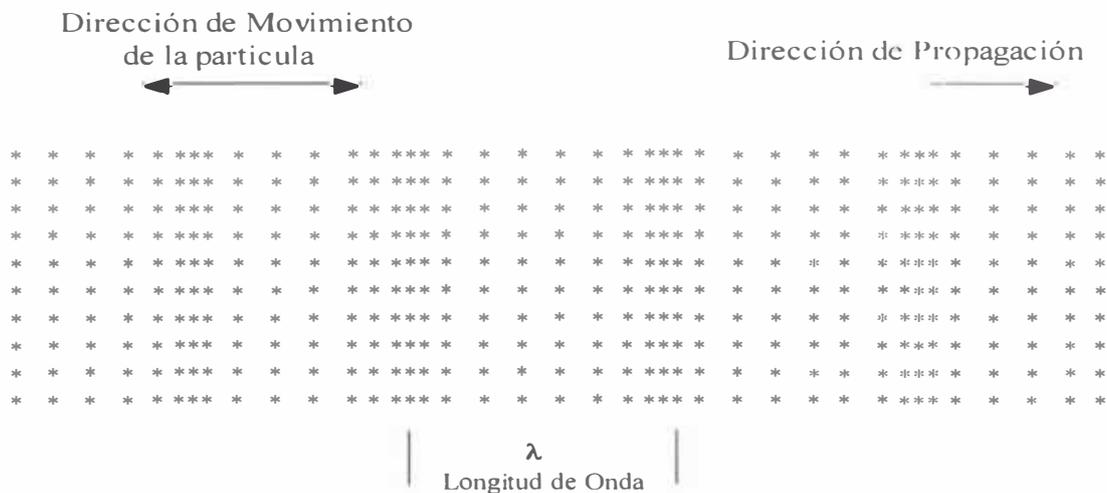


Fig 1.1

### 1.3 Ondas S

Llamadas también ondas cortante, transversal es el segundo evento en registrarse en un terremoto, se caracteriza porque las partículas se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación, cada partícula se mueve, hacia arriba y hacia abajo, mueven a las partículas vecinas por lo que están asociadas a las deformaciones que presenta el terreno después de un terremoto, graficadas en la fig. 1.2.

Las ondas S son de menor velocidad las ondas P alcanzan velocidades de 0 a 70 % de la velocidad de la onda P.

La velocidad de las ondas sísmicas en rocas reales depende de muchos factores como son litología, porosidad, edad, profundidad y régimen de presión.

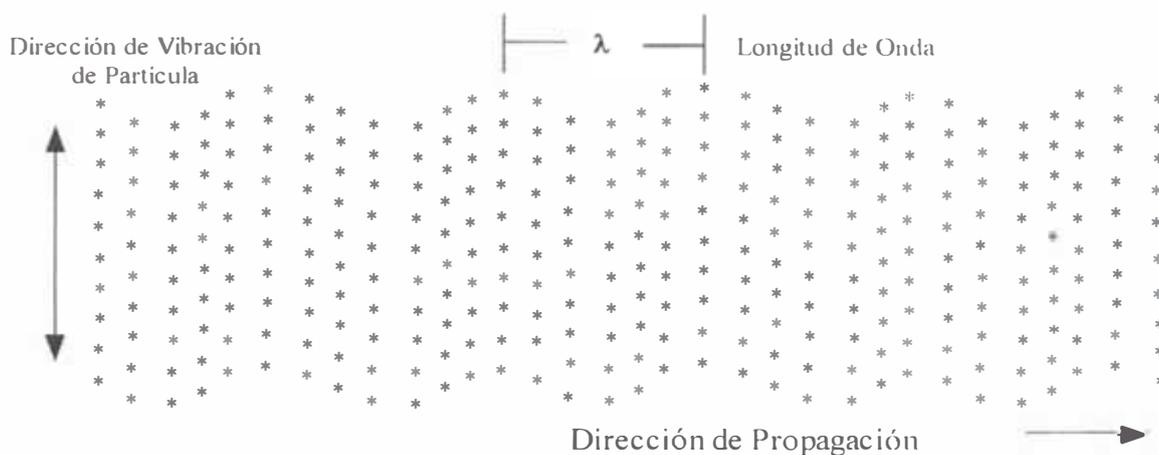


Fig. 1.2

Ejemplo de velocidades de Ondas P y Ondas S en diferentes medios Tabla N° 1.1

Medios	Onda P Vel. m/seg	Onda S Vel. m/seg
Granito	5200	3000
Basalto	6400	3200
Calizas	2400	1350
Areniscas	3500	2150

Tabla N° 1.1

Fuente: Geología General Dr. Wolfgang Griem & Susanne Griem Klee

#### 1.4 Ley de Snell

Una onda que se propaga en un medio de propiedades elásticas cuando llega a una superficie que separa dos medios de diferente propiedades una parte de la energía se refleja y otra se refracta, la onda que se refleja graficada en la fig.1.3 en el mismo medio el ángulo de la onda de incidencia es igual al de la onda que se refleja respecto a la normal de la superficie.

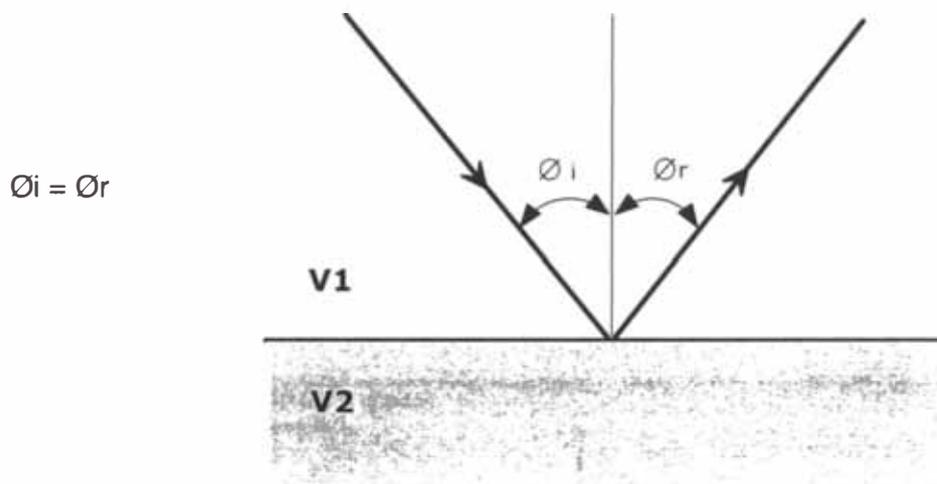


Fig. 1.3

#### 1.5 Teorema del Muestreo

El proceso de convertir una señal continua  $f(x)$  en un número finito de muestras  $f(n)$  se le conoce como muestreo; en la fig.1.4 las muestras pueden ser tomadas a intervalos regulares llamado periodo de muestreo.

Muestreo de una señal senoidal:

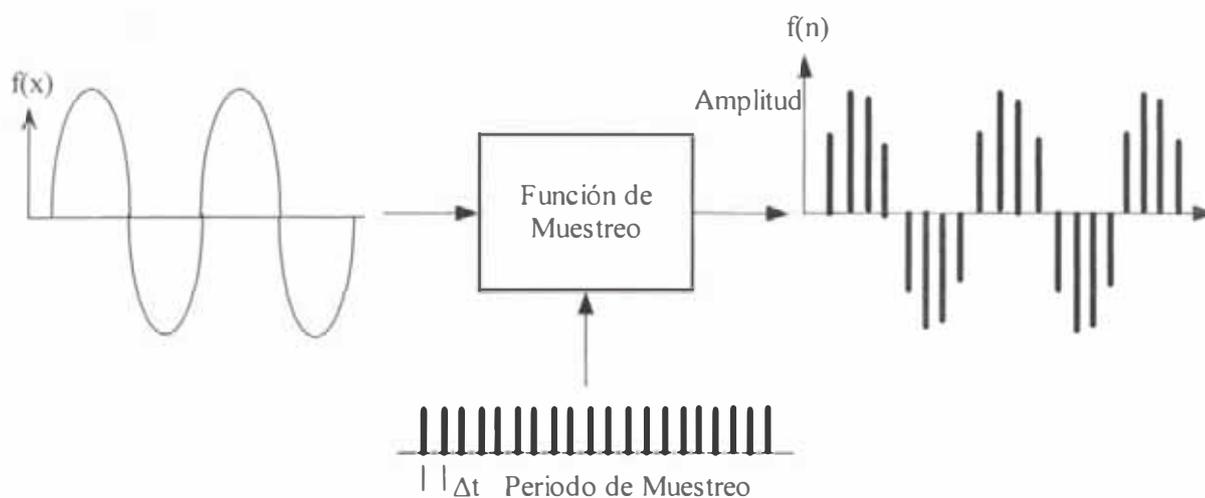


Fig 1.4

## 1.6 Frecuencia de Nyquist

Si una señal continua de ancho de banda limitado ha sido muestreada puede ser recuperada a partir de sus muestras a su forma original si las muestras se han obtenido con una frecuencia de muestreo mínima superior a 2 veces la máxima frecuencia contenida en la frecuencia original.

$$F_{nyq} \geq 2 f(x)_{max}$$

Ejemplo fig. 1.5

Frecuencia  $f(x)_{max} = 50$  hz; Periodo = 20 milisegundos.

Frecuencia de Nyquist  $F_{nyq} \geq 2 \times 50$  Hz = 100 Hz; Periodo = 10 milisegundos.

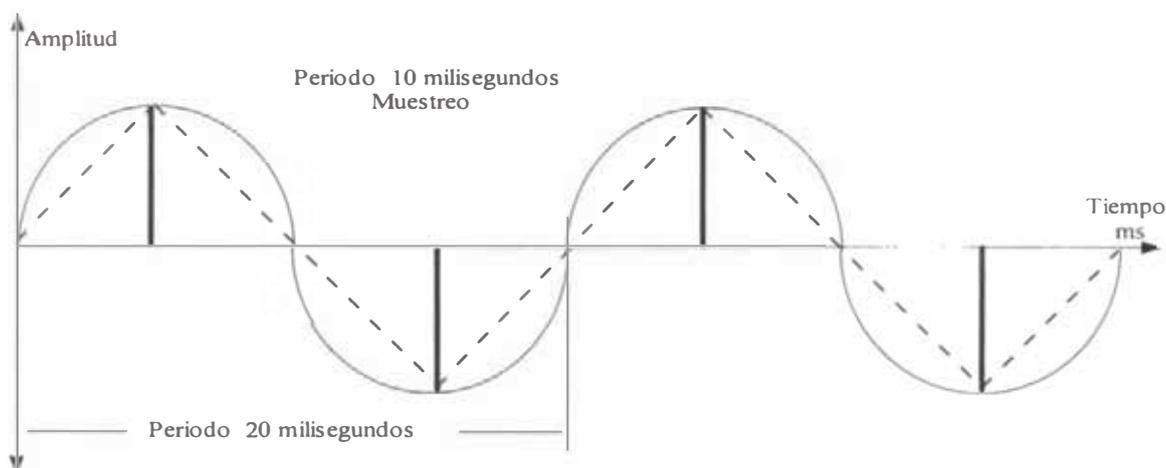


Fig. 1.5

La recuperación de la señal a partir de estas muestras representa la función original de forma no muy precisa.

Si la frecuencia de Nyquist la hacemos 8 veces la frecuencia máxima  $F_{nyq} = 8 \times 50 \text{ Hz} = 400 \text{ Hz}$ ; Periodo = 2,5 mili segundo, fig. 1.6

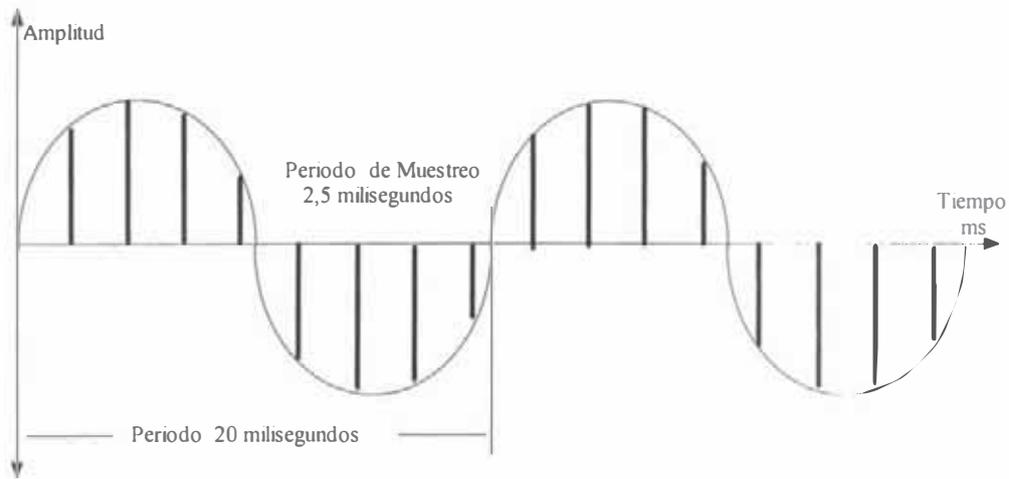


Fig. 1.6

La grafica muestra que incrementando la frecuencia de muestreo, si es posible recuperar la señal original a partir de las muestras.

## 1.7 Esquema General de los Métodos Sísmicos

### 1.7.1 Método de Refracción

La información adquirida por este método es la velocidades en las diversas formaciones así como su geometría lo que permite identificar los materiales rocosos del sub suelo; las trayectorias entre fuente y receptor en la fig.1.7

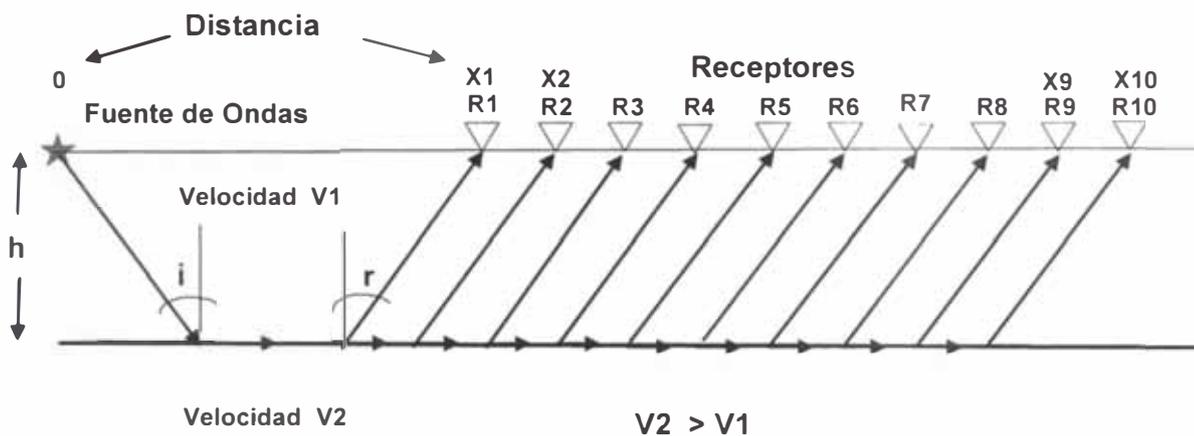


Fig. 1.7

El método de refracción valioso para áreas donde capas de alta velocidad se encuentran cubiertas por capa de baja velocidad por ejemplo caliza cubiertas por arena y caracterizado por la gran distancia entre fuente y receptor en comparación con la profundidad de las interfaces como consecuencia en refracción la trayectoria de las ondas que predominan son horizontales más que verticales.

Si graficamos los tiempos de arribo versus la distancias de los geófonos a la fuente tenemos la grafica de la fig. 1.8

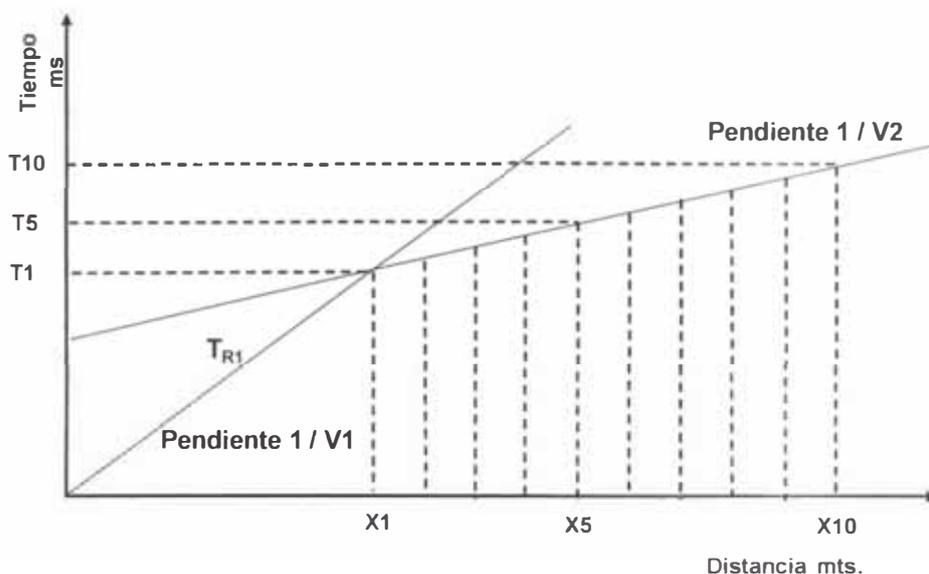


Fig.1.8

La fuente de onda para tendidos de hasta 150 mts puede ser martillo para tendidos largos de 200 mts a 1000 mts hay que usar 1 a 2 kg. de explosivo.

### 1.7.2 Método de Reflexión

Método más usado en la prospección geofísica porque aporte mejores detalles de las estructuras geológicas del sub suelo, con los datos adquiridos es posible encontrar con exactitud estructuras a grandes profundidades analizando los tiempos de recorrido de la onda elásticas originadas cerca de la superficie y que se reflejan en las formaciones sub terraneas.

Los métodos de reflexión de la fig.1.9 es aplicables exclusivamente en la prospección petrolífera por las profundidades a la que encuentra el petróleo y los mejores resultados se obtienen en áreas donde el petróleo se encuentra en trampas estructurales.

El procedimiento para desarrollar el método es perforar un pozo de 15 a 30 mts con un diámetro de 3 pulgadas y colocarle una carga explosiva de 1 a 4 kg con un detonador eléctrico que tiene cables hasta superficie y que será activada a través de corriente eléctrica.

En la superficie se coloca geófonos espaciados a intervalos de 25 a 100 mts todos igualmente espaciados a lo largo de 2 a 6 km en línea recta, cada grupo de geófonos representa un canal sísmico que con la electrónica de campo y cables debe conectarse a un sismógrafo.

El tendido de geófonos hoy en día llega a 120 grupos espaciados a 50 mts cada uno da una longitud de tendido de 6 km., el punto de explosión puede situarse a un lado del tendido o en el centro del tendido.

Cuando se detona el explosivo cada geófono registra una señal por el movimiento del suelo ante la onda reflejada y a través de la electrónica de campo y cables lo entrega al sismógrafo quien lo graba en cinta y disco duro.

Los eventos que se registran de cada canal varían de un canal a otro por los diferentes recorridos, los tiempo de arribo el intervalo de tiempo entre la explosión y la llegada al geófono son los tiempos del recorrido.

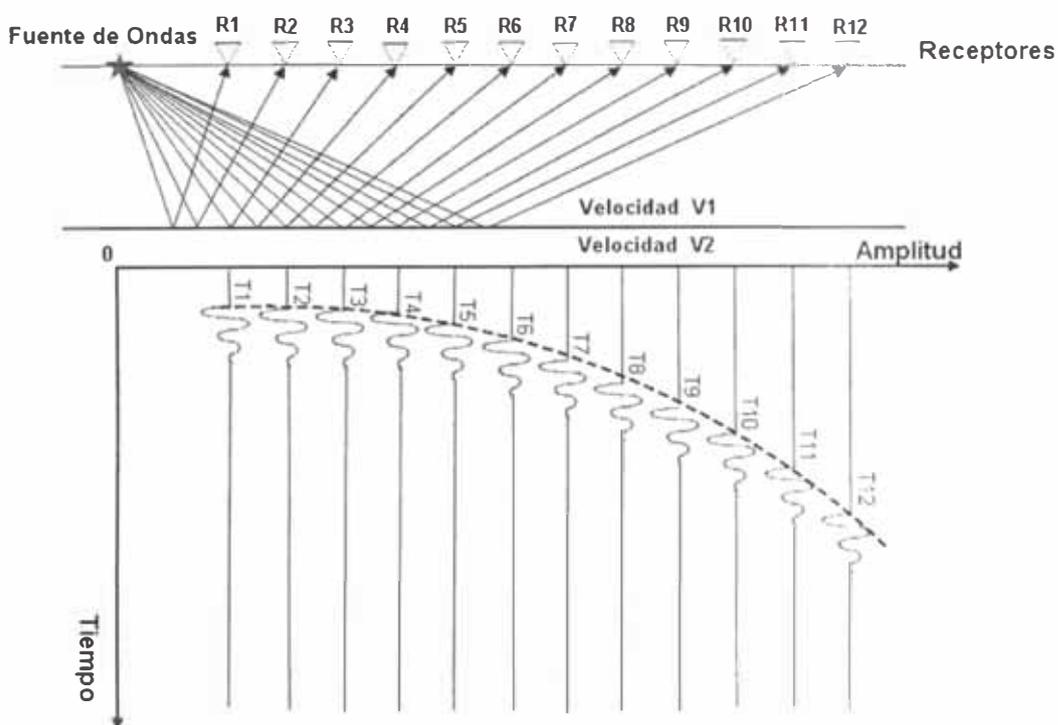


Fig.1.9

Sismograma real del tendido respecto al punto de explosión con horizontes reflectores.

La generación del frente de onda se hace normalmente con explosivo para zonas despobladas, para zonas pobladas con tendidos largos se pueden usar vibradores en reemplazo de explosivo y para tendidos cortos de 48 canales simétrico se puede usar martillo.

### 1.8 Geometría de la Trayectoria superficial Horizontal

Para calcular la profundidad a la que se encuentra el horizonte reflectante partimos de la ley de Snell, la velocidad en una capa es uniforme en todo el medio reflectante fig.1.10.

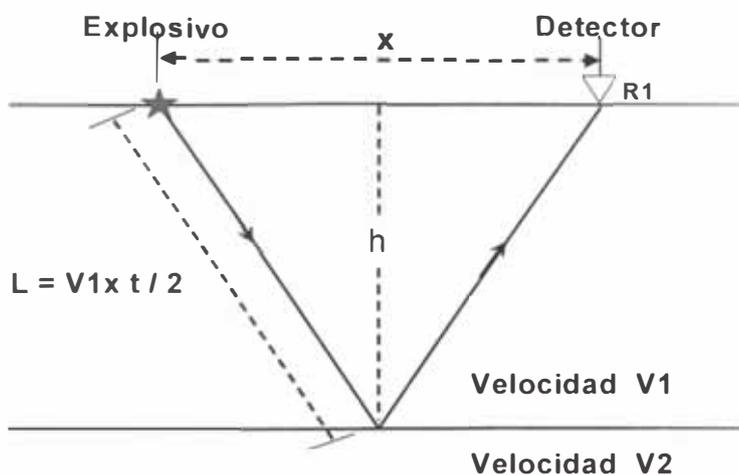


Fig. 1.10

Donde:

$$L = 2 \sqrt{h^2 + (X/2)^2}$$

$$L = 2 V_1 x t / 2$$

$$V_1 * t = 2 \sqrt{h^2 + (X/2)^2}$$

el tiempo total del recorrido es :

$$t = 2/V_1 \sqrt{h^2 + (X/2)^2}$$

La profundidad a la que se encuentra el horizonte reflector es:

$$h = 1/2 \sqrt{(V_1 * t)^2 + X^2}$$

Donde el tiempo se obtiene de los sismogramas, la distancia de separación entre la fuente y el detector es conocida, hay que determinar la velocidad de la capa reflectante.

## CAPITULO II ADQUISICION DE DATOS

### 2.1 Conceptos

La sísmica 3D es una forma de estudiar el subsuelo con el propósito de obtener datos para representar imágenes de las estructuras geológicas que probablemente contengan hidrocarburos a grandes profundidades.

Los Estudios de sísmica 3D se realiza por el método de Reflexión que consiste en generar ondas sísmica a través de una fuente de energía que puede ser grupo de camiones vibradores o explosivo por tener tendido en grandes distancia por cubrir; cuando se usa camiones vibradores se forman flotas de 5 camiones separados a 3 mts de manera sincronizada presionan el suelo con una fuerza de 60,000 libras cada uno; cuando se usa explosivo se realiza una perforación de 15 a 30 m. de profundidad; para los dos tipos de fuente de energía a cierta distancia se plantan los arreglos de geófonos siguiendo un patrón definido por los geofísico; los geófonos quienes reciben esa señal del sub-suelo durante el tiempo de grabación, este tiempo es directamente proporcional a la profundidad del estudio; hoy en día las grabaciones están entre 4 a 8 seg.

Hasta hace unos años los datos adquiridos eran grabados solo en cintas magnéticas 3480 y 3490 en formato SEG D hoy en día se graba en discos duros NAS en el mismo formato, los datos son procesado en campo y se generan secciones preliminares para luego en un centro de procesamiento mayor realizan el cubo sísmico 3D.

Para la realización de estudio de sísmica 3D primeramente se define el área basándose en estudios de geología y geofísica anteriormente realizados, también se toman en cuenta antecedentes de pozos productores en las cercanías, posteriormente se define y se diseña la ubicación de las líneas fuentes y líneas receptoras y los parámetros del estudio.

## 2.2 Parámetros Tabla 2.1

PARAMETROS ESTUDIO 3D	
TAMAÑO DEL BIN (m)	25 X 25
DISTANCIAS ENTRE PUNTOS DE TIRO (m)	50
DISTANCIAS ENTRE RECEPTORAS (m)	50
DISTANCIAS ENTRE LINEAS FUENTES (m)	700
DISTANCIAS ENTRE LINEAS RECEPTORAS (m)	600
OFFSET MAXIMO IN LINE (m)	4000
OFFSET MAXIMO CROSS LINE (m)	3575
Nº DE LIENAS RECPTORAS ACTIVAS	12
Nº DE CANALES POR LINES	160
Nº DE CANALES ACTIVOS POR REGISTRO	1920
Nº DE DISPAROS POR SALVO	12
Nº TOTAL DE PUNTOS DE DISPARO DEL ESTUDIO	18200
FOLD	40
ARREGLO DE GEOFONOS	6X1
DISTRIBUCION DE GEOFONOS	Centrado a la estaca
DISTANCIA ENTRE GEOFONO (m)	5
PROFUNDIDAD DEL POZO (m)	25
CARGA (Kilos)	4

Tabla Nº 2.1

**Líneas Fuente:** Son estacas de color rojo fig.2.1 consecutiva numeradas donde se colocara explosivo o donde los vibradores harán un barrido; línea marcada con puntos donde se generan las ondas sísmicas; en caso de ser explosivo los pozos perforados pueden ser de 15 a 30 mts. de profundidad, separados entre 50 a 100 mts según diseño geofísico, con 2 a 4 kg de explosivo quien genera las ondas sísmicas que se propagan a través de las diferentes capas internas.

**Línea Receptora:** Son estacas de color verde fig.2.1 consecutivas numeradas donde se plantan las ristras de geófonos según un parámetro diseñado por el geofísico, los espaciamientos son de 15 a 60 mts. según diseño del 3D, los geófonos son los transductores que el movimiento de la explosión le induce una señal analógica proveniente del subsuelo, esta información ingresa a las cajas electrónicas telemétricas distribuidas a lo largo de toda la línea.

Para iniciar la adquisición de datos nos basaremos en los parámetros de Diseño del Estudio establecidos por la compañía responsable del estudio.

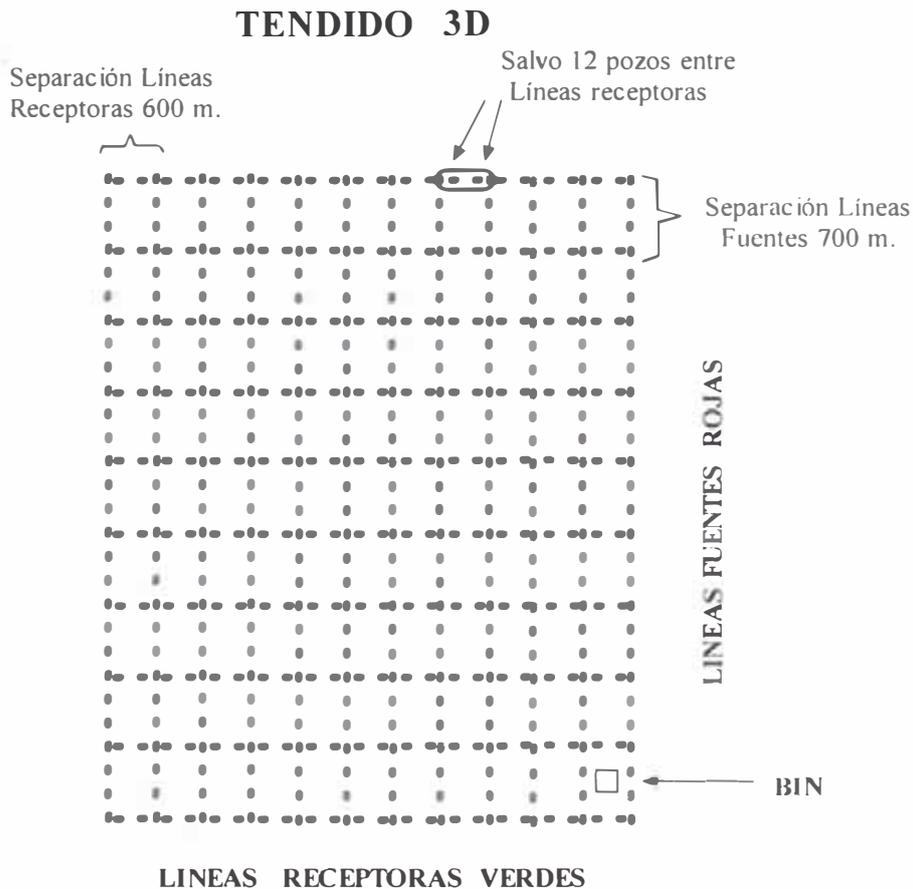


Fig. 2.1

**Bin:** Area del subsuelo del tamaño de la mitad del intervalo entre estacas receptora por la mitad del intervalo entre estacas fuentes.

**Distancia entre punto de Tiro:** Longitud entre estacas donde se posesiona la fuente de energía para la adquisición de datos.

**Distancia entre Estacas Receptoras:** Longitud entre estacas donde se colocan las ristras de geófonos.

**Distancias entre líneas Fuentes:** Longitud entras las líneas donde la fuente se desplazara.

**Distancias entre Líneas Receptoras:** Longitud entre líneas donde hay estacas con geófonos plantados.

**Offset Máximo in Line:** Distancia máxima en forma lineal entre el punto de disparo y el canal mas lejano de la línea fig.2.2.

**Offset Cross Line:** Distancia máxima entre el punto de disparo y el canal más lejano en la línea mas alejada al punto de disparo fig.2.2.

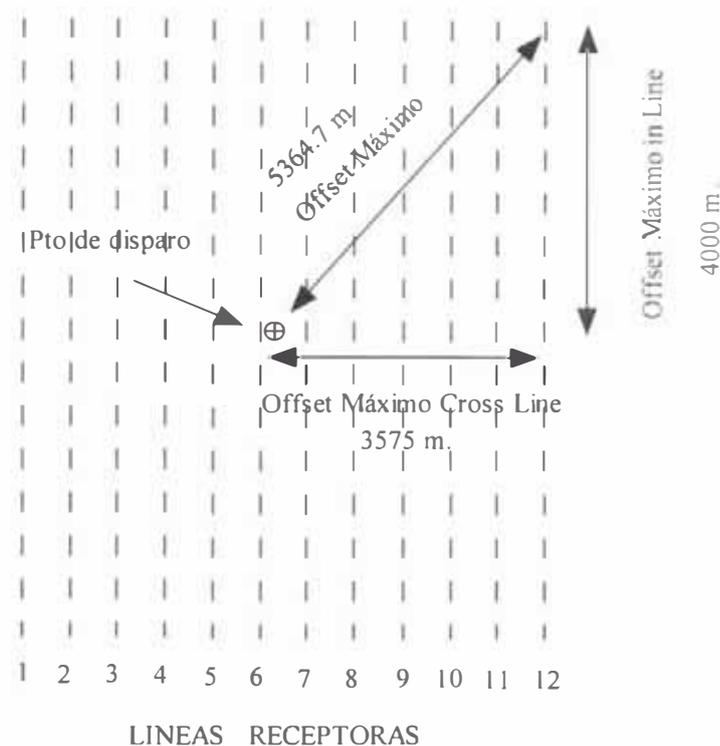


Fig.2.2

**Número de Líneas receptoras activas:** Líneas activa durante un disparo.

**Número de Canales activo por línea:** Canales que el sismógrafo adquiere la información por cada disparo.

**Número de Canales por registro:** Multiplicación de canales activos por cantidad de líneas activas, total de canales adquiridos por cada disparo.

**Número de Disparos por Salvo:** Las líneas receptoras y las líneas fuentes en algunos casos son perpendiculares y se cruzan entre ellas formando una red, entre líneas receptora hay una separación con una cantidad de puntos de disparo, a esos puntos de disparo se le llama salvo.

**Distancia entre geófonos:** Una vez definido la cantidad de geófonos por ristra, la forma como va tendido, se precisa el espaciamiento entre geófono en el tendido.

**Número Total de punto de disparo del Estudio:** Son todos los pozos cargados y detonados que deben grabarse en el estudio para poder procesar el cubo sísmico.

**Fold:** Cantidad de puntos comunes que caen dentro de in BIN en adquisición 3D.

**Arreglo de geófono:** Cantidad de geófonos que llevara una ristra ejemplo 6X1, 6X2, 6X3

**Distribución de geófonos:** Como deben plantarse los geófonos en campo respecto de la estaca, puede ser centrado a la estaca de manera lineal, alrededor de la estaca con radio de 1 mts circular; de la estaca hacia mayores etc.

**Profundidad del Pozo:** Es la profundidad a la que debe dejarse el explosivo en el pozo.

**Carga Explosiva:** Cantidad de explosivo en kilos que debe colocarse en cada pozo para que todo el tendido pueda detectar la detonación, esta carga es definida por varias grabaciones con diferentes kilos de explosivo.

### 2.3 ¿Como se forman los hidrocarburos?

Los hidrocarburos se forman cuando grandes cantidades de compuesto orgánico son cubiertos por estratos rocosos o por aludes y luego estas zonas son cubiertas por mar llegando a quedar entre los sedimentos del fondo marinos ó pantanos, donde no pueden ser consumidos por otros organismos y en un ambiente bajo de oxígeno y alto potencial de preservación.

Con el paso de los años estos sedimentos sufren aumento de presión y temperatura formándose petróleo y gas natural; el gas se forma en mayor cantidad cuando en la formación predomina las temperaturas altas.

También es importante el aporte de fosfatos y nitratos, que se generan a través de descomposición bacteriana. En este sentido son muy importantes en los océanos las zonas de productividad, en las que las corrientes provocan el ascenso de los nutrientes.

Los hidrocarburo no se encuentra formando un lago sub terraneo se encuentra impregnado en una roca porosa, el hidrocarburo es menos denso que la roca y tiende a subir quedando atrapado debajo de rocas impermeables y formando grandes depósitos.

Los hidrocarburos se encuentran en estructuras:

**Estratigráficos:** En forma de bolsa alargada que se inserta entre dos estratos impermeables impidiéndole ascender.

**Anticlinal:** En una curvatura del subsuelo entre estratos impermeables sellado los extremos por fracturas de terreno que permiten almacenar el petróleo.

**Falla:** Cuando el terreno se fractura en uno o en los dos extremos, los estratos que antes coincidían se separan; el estrato que contenía petróleo queda atrapado en una roca no porosa, se forma la bolsa o yacimiento.

## CAPITULO III

### EQUIPOS PARA SISMICA TERRESTRE

#### 3.1 Fuentes de Energía para Sísmica Terrestre

##### 3.1.1 Dinamita

Fuente inicial de energía en la adquisición de datos; hoy en día a sido reemplazada por otro componentes llamado pentolita por mostrar mejoras de seguridad en cuanto a procesos de fabricación, manipulación y traslados; este explosivo es una mezcla de elementos químicos que se inician en el caso del explosivo sísmico con un detonador eléctrico al que se le hace circular una corriente y estalla produciendo gran fuerza con liberación de calor y gases.

El explosivo llamado booters (pentolita) en forma de cartucho de 3 a 5 cm de diámetro y 14 a 31 cm. de largo en presentaciones de 0,5 Kg., 1Kg. y 2Kg. en envase de polietileno fáciles de unir de manera vertical para obtener diferentes pesos de explosivo son armados con un detonador eléctrico que tiene cables lo suficientemente largo para que puedan ser conectados en la superficie a una fuente de energía AC o DC que hace detonar el explosivo.

El detonador eléctrico es capaz de convertir un impulso eléctrico en una detonación, se caracteriza por contar con un iniciador electro-pirotécnico ultra rápido, dando un tiempo promedio entre el momento en que se entrega la energía especificada y el instante en que se produce la detonación menor a 1 milisegundo.

La velocidad del frente de onda después de la detonación puede ser de 7000 m/seg.; el detonador eléctrico activado por el equipo electrónico DECODER a través de un impulso y constituye el tiempo cero que es el momento de la explosión.

Los explosivos proporcionan la mejor fuente de energía mas compacta, tiene la desventaja de ser de alto costo, necesita de perforaciones de 15 a 30 mts, diámetro del pozo 3 pulgadas; la composición del suelo es arcillas, areniscas, gravas en diferentes espesores; el explosivo es de alto potencial de daño a lugares poblados y de pozos artesanales; su mayor aplicación es en zonas no pobladas o desiertos; en lugares con población se disminuye la carga y se aleja a mas de 100 mts. de las edificaciones.

Para manipular el explosivo se necesita licencia de las autoridades militares del país, se lleva un control estricto de los pozos cargados y las autoridades militares conocen a diarios el movimiento de este material desde los polvorines que es donde se almacena

### 3.1.2 Vibradores sobre Vehículos

Los Vibradores tienen capacidad de realizar una fuerza de presión contra el suelo como fuente de energía sísmica para adquisición de datos del sub suelo, la transmisión de energía la realiza con un sistema hidráulico haciendo presión sobre una plancha de acero presionada contra el suelo por el peso de vehículo, normalmente son flota de 5 camiones que se posicionan en el centro de la estaca para emitir fuerzas individuales de 60,000 cada camión, esta fuerza durante un tiempo es lo que se llama barrido.

Esta fuente de energía que reemplaza en ciertos estudios a la dinamita da como resultado final un registro igual al de dinamita pero antes tiene que realizar un proceso matemático llamado correlación el cual transforma los barridos realizado en un tiempo en un impulso de corta duración similar a la dinamita fig.3.1

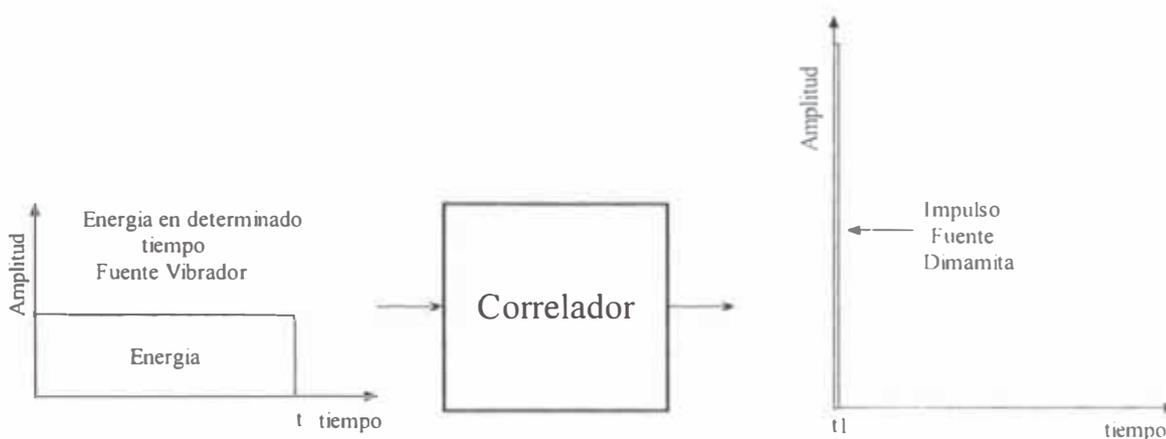


Fig.3.1

Cada Vibrador fig 3.2 tiene un caja de control electrónico la que recibe la orden de comando desde el sismógrafo vía radio VHF; el vibrador ante esta orden ordena al sistema hidráulico fig 3.3 la forma del barrido y el tiempo que debe vibrar; en el sismógrafo hay un encoder de vibradores que genera una señal idéntica conocida como barrido piloto; el comienzo del barrido coincide con el inicio del registro.

Este modelo de control sobre la mecánica del camión permite usar varios camiones vibradores a la vez, todos comandados por la misma señal desde el sismógrafo, la información durante el barrido es almacenada en el camión y enviada al sismógrafo cada vez que termina un barrido ó sweep.



Fig.3.2

Los barridos pueden durar de 7 a 35 seg. con generación de frecuencias de 10 a 90 hz.

La fuerza del vibrador puede ser controlada por las cajas electrónicas instaladas en cada vehículo, lo que permite usarlo como fuente de energía en zonas pobladas donde no se puede usar explosivo.

Del diagrama hidráulico la fuerza que ejerce la tierra sobre el vibro es:

$$F_E = F_{RM} + F_{BP}$$

Donde:

$F_{RM}$ : Fuerza de la Masa

$F_{BP}$ : Fuerza de la Plancha

Ejemplo:

**Fuerza de la Bomba** = 3000 libras por pulgada cuadrada (PSI)

**Área del Pistón** = 20.6 Pulgadas cuadradas

**Fuerza Pico** = Fuerza de la bomba x Área del Pistón = 3000 x 20.6 = 61,800 Lb.

### Control Hidráulico del Vibrador

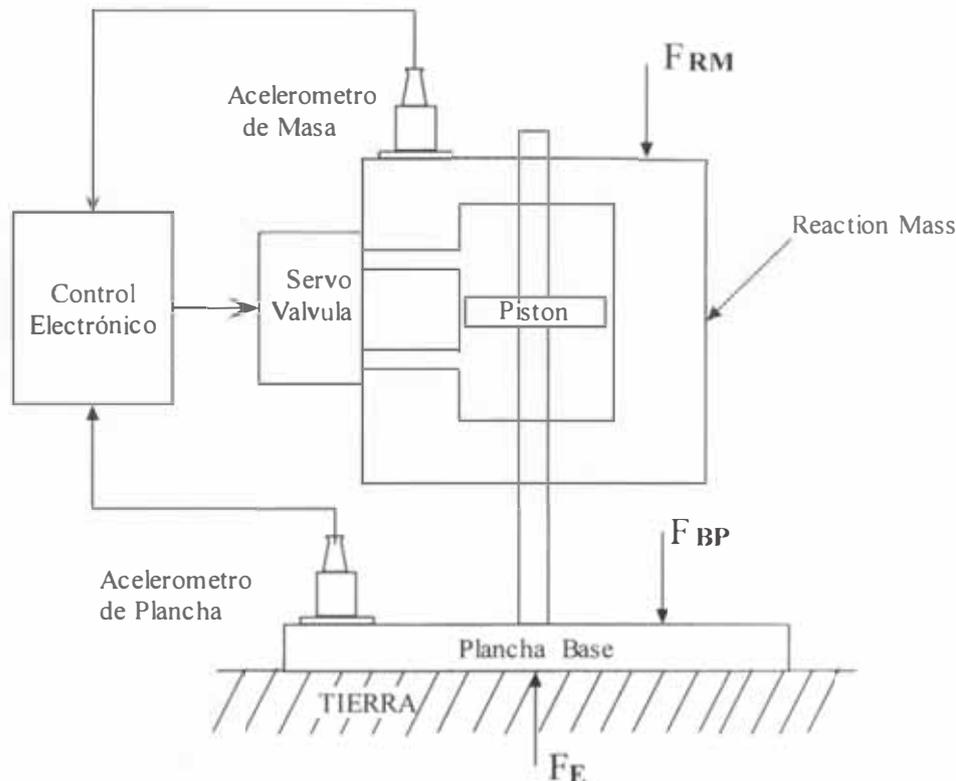


Fig.3.3

El Control electrónico que lleva el camión y que se comunica con el sismógrafo vía radio VHF se encarga mediante comandos recibidos de manejar el pistón a través de la servo válvula para ejercer presión con determinada frecuencia y en determinado tiempo de acuerdo al tiempo del barrido cargado.

Los tipos de barrido fig 3.4 pueden ser lineal o no lineal de acuerdo a los resultados de prueba experimentales tratando de acentuar ciertas frecuencias; en el ejemplo mostrado se acentúan las altas frecuencias en 3 db/ octava ó 6 db/octava.

#### Especificaciones Vibrador Marca Input –Output AHV-IV 362

**Peso Bruto** = 63,220 Lb.

**Fuerza hacia abajo** = 61,000 Lb.

**Fuerza de la Bomba** = 3000 libras por pulgada cuadrada (PSI)

**Área del Pistón** = 20.6 Pulgadas cuadradas

**Peso de la Masa** = 7,877 Lb.

**Peso de la Plancha Base** = 3,905 Lb.

**Servo Válvula:** ATLAS 200-H with Manifold DR's Enhancement

**Control Electrónico de Vibrador (V.C.E.):** Pelton Advance II Revision 6C.

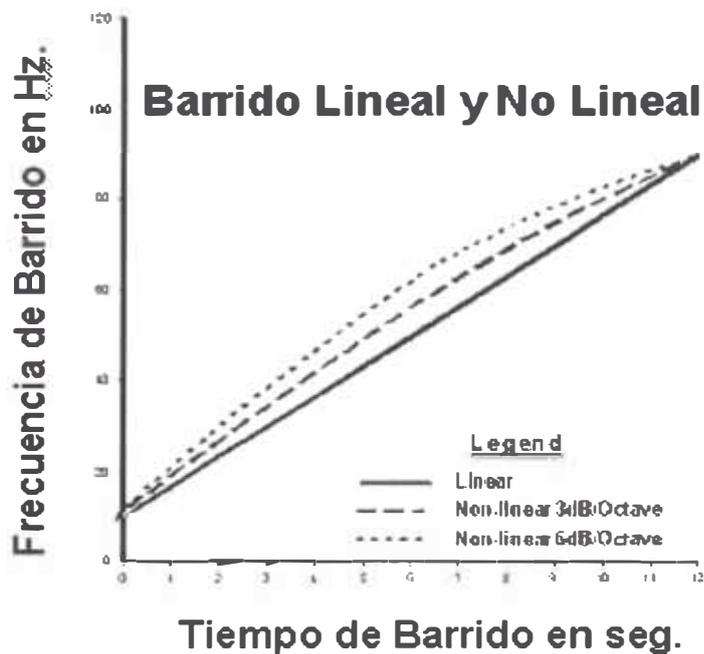


Fig.3.4

## 3.2 Geófonos

### 3.2.1 Geófonos Analógicos

El geófono analógico es un transductor electromecánico que convierte los movimientos del terreno en señal eléctrica, normalmente los geófonos se agrupan en arreglos en serie ó serie paralelo llamado ristras.

Después de la detonación del explosivo la energía reflejada que llega a la superficie es detectada por el arreglo de geófonos plantado, comúnmente 6 geófonos en serie llamado 6X1 ó 12 geófonos, dos series de 6 geófonos puestos en paralelo llamado 6X2. Los geófonos son electromagnético para sismica terrestres y material piezoeléctrico para sismica en pantanos ó sismica marina.

La construcción de un geófono figuras 3.5 y 3.6 es con un imán permanente en forma de cilindro sujetado en la parte superior e inferior por unos amortiguadores o resortes que le permiten moverse solo verticalmente, a su alrededor ligeramente separado se encuentra una arrollamiento de cobre muy fino formando una bobina a lo largo de todo el imán y montado de manera fija, el imán crea un campo magnético perpendicular a las espiras de la bobina.

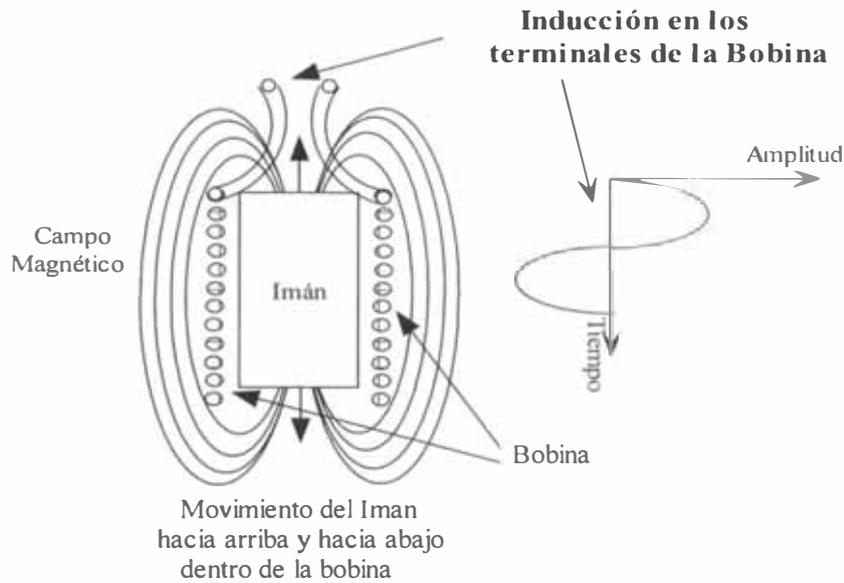
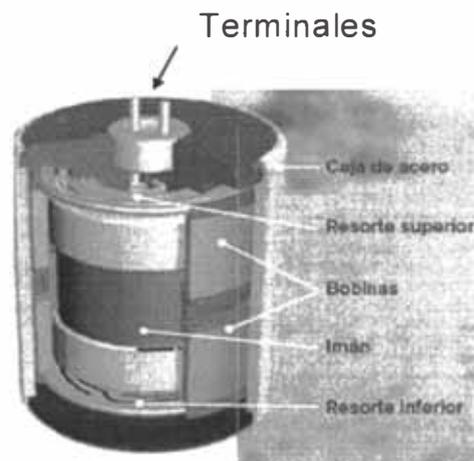


Fig. 3.5

Cuando el terreno se mueve verticalmente recibiendo las reflexiones del sub suelo, el imán suspendido sobre amortiguadores se mueve dentro de la bobina; este movimiento relativo entre la bobina y el campo magnético induce un pequeño voltaje entre los terminales de la bobina que es proporcional a la velocidad del movimiento de la bobina dentro de las líneas de fuerza del campo magnético.

La detonación del explosivo también genera ondas superficiales que viajan de manera horizontal que alcanzan al geófono pero no generan señal de salida por su construcción es para generar una salida si recibe un movimiento vertical.



**Sección del Geófono SM-24**  
**Propiedad de Sensor**

Fig. 3.6

### Curva de Sensibilidad Vs Frecuencia Geófono GS-32CT

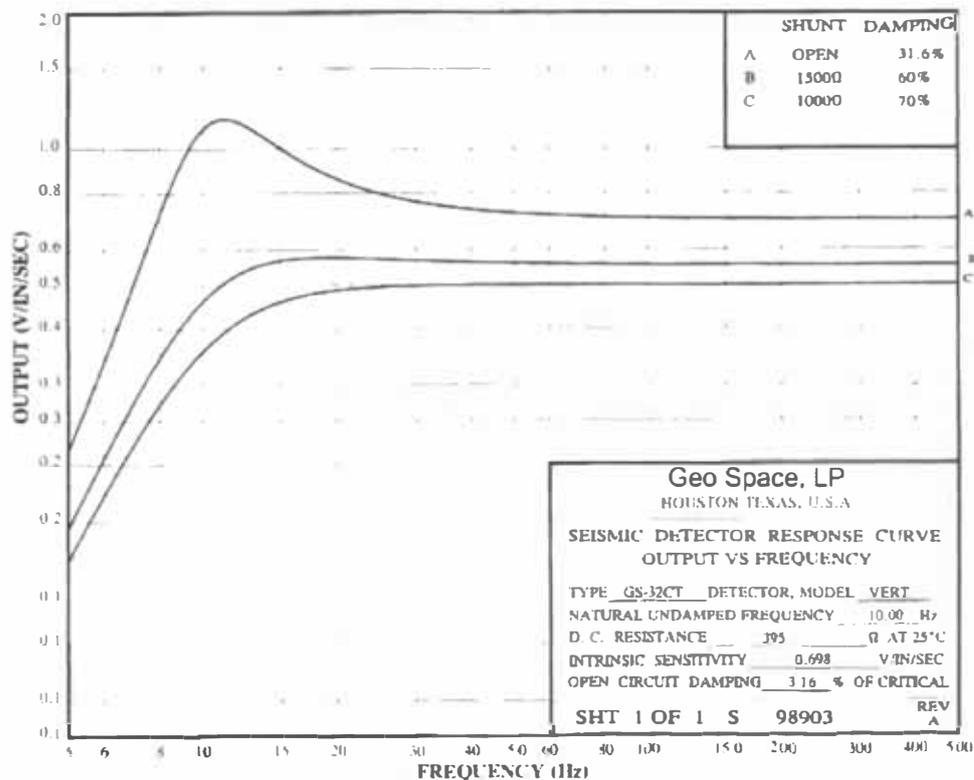


Fig. 3.7

**Frecuencia Natural (Fn):** Como el imán está sobre resortes o amortiguadores habrá una tendencia natural a oscilar a determinada frecuencia, a esta frecuencia se le llama "frecuencia natural".

En sismica de tierra el estándar es usar frecuencia natural de 10 Hz, pero la selección de la frecuencia natural depende de la zona de operaciones donde pueden haber trenes de ruido con componentes de 10 Hz, podría usarse frecuencia natural de 14 Hz.

Las frecuencias por debajo de la frecuencia natural son atenuadas, por lo cual el geófono constituye un filtro corta bajo, las frecuencias altas de reflexión si son registradas.

**Amortiguamiento (damping):** la construcción del geófono con resortes internos constituyen un sistema oscilatorio con frecuencia natural, para la sismica de reflexión en la mayoría de los estudios es 10 Hz. Desde que el geófono tiende a continuar oscilando después que el movimiento de la tierra desaparece poco a poco, es necesario atenuar este movimiento, esto se consigue colocando en paralelo una resistencia llamada "shunt" la que amortigua la oscilación del geófono.

El amortiguamiento que puede minimizar continuos cruces del punto cero en el menor tiempo posible se le llama amortiguamiento crítico y se logra con un factor del 70 % del amortiguamiento total.

Componentes del amortiguamiento:

Bo: Amortiguamiento a circuito abierto: Amortiguamiento cuando no se conecta resistencia shunt en paralelo con la bobina del geófono. Valor es especificado por el fabricante y varía entre 0.15 y 0.50 del amortiguamiento crítico.

Bc: Amortiguamiento por resistencia shunt  $R_s$ . Si llamamos  $R_c$  a la resistencia de la bobina, el amortiguamiento Bc puede expresarse como:

$$B_c = 16 R_c / F_n * (R_c + R_s)$$

Bt: Amortiguamiento total: Suma de los amortiguamientos individuales.

$$B_t = B_o + B_c$$

**Distorsión:** Cuando el geófono se le pone a vibrar con una onda sinusoidal de frecuencia  $f$ , y se mide la salida del geófono, esta contiene no solo la frecuencia fundamental, sino también armónicas de esa fundamental.

La distorsión armónica es definida como el porcentaje de segundas y terceras armónicas respecto a la fundamental; los fabricantes hoy en día prueban las bobina del geófono con una corriente alterna de frecuencia fija 12 Hz y baja distorsión para producir una salida de 0.7 pulg/seg.

**Sensibilidad del geófono:** Máxima salida de amplitud en la parte plana de su curva de respuesta para frecuencias mayores que la frecuencia natural. La sensibilidad se expresa en: Volt/m/seg ó Volt/pulg/seg.

La sensibilidad del geófono es diferente a la misma frecuencia para diversos valores de amortiguamiento según sus curvas de respuesta fig.3.7

**Angulo de Inclinación:** Máximo ángulo respecto a la normal de la superficie que garantizan las especificaciones del fabricante. Valor típico 20 grados.

**Frecuencia Espuria:** Máxima frecuencia a la cual el geófono como transductor pierde sus características distorsionando la señal de salida; la frecuencia espurias debe ser mayor que la frecuencia del filtro corte alto.

## Especificaciones del geófono GS-32 CT (Propiedad Geospace)

Todas las especificaciones a 20° de inclinación respecto de la vertical

Descripción	Especificaciones @ 25° C	TOL ±
Frecuencia Natural (Fn):	10 Hz	2.5%
Excursión de la Bobina	> .102 cm MIN > .152 cm MAX	
Respuesta a Frecuencia Espuria	> 250 Hz	
Resistencia DC	395 ohms	2.5%
Sensitividad (G)	.275 V/cm/s	
Amortiguamiento a circuito abierto (B <sub>o</sub> )	.316	
Amortiguamiento con 1000 ohm resistencia Shunt	.70	2.5%
Sensitividad @ 70% Amortiguamiento	.197 V/cm/s	2.5%
Distorsión Armónica		
Velocidad de 1.8 cm/sec @ 12 Hz	<0.10%	
<b>Dimensiones</b>		
Peso	86 g	
Diámetro	2.54 cm	
Altura	3.30 cm	

### 3.2.2 Ristras

Las ristras es un grupo de geófonos que se plantan en una estaca colocada por el topógrafo fig 3.8; las ristras los pueden constituir un grupo de 6 geófonos en serie llamado 6X1 o un grupo de 12 geófonos, dos grupos en paralelo de 6 geófonos en serie llamado 6X2 también hay ristras de 18 geófonos llamadas 6X3; la definición de cuantos geófonos lleva una ristra esta sujeta a pruebas experimentales antes de realizar el estudio, a mayor números de geófonos por ristras se adquiere mejor información del sub suelo pero hay zonas de buena información que una ristra de 6 geófonos es suficiente; los costo de exploración son mas altos cuando la ristra es de mayor numero de geófonos.

Los geófonos de una ristra se distribuyen en la estaca siguiendo una configuración pre determinada por el geofísico, normalmente igual espaciamiento a lo largo de una línea de tendido.

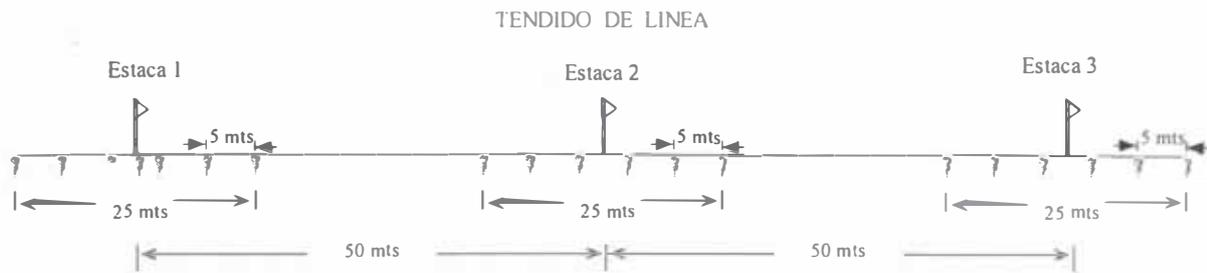


Fig. 3.8

El mismo geófono puede usarse para zonas bajas inundables o de mucha lluvia usando casco de pantano, en zonas desérticas o de poca lluvia se puede usar el casco de tierra fig.3.9.

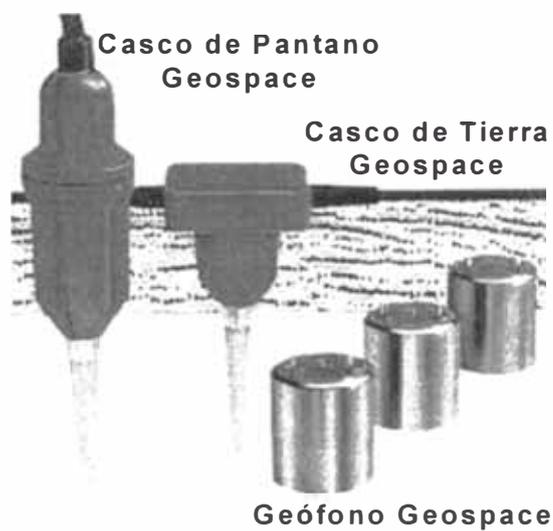


Fig 3.9

Configuración eléctrica de 6 geófonos en serie fig.3.10.

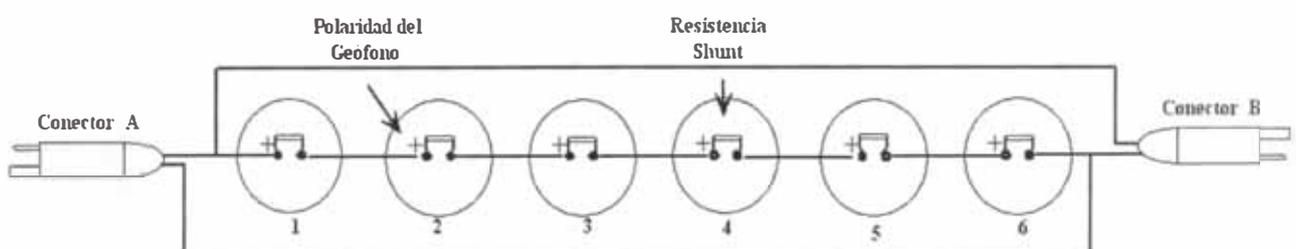


Fig. 3.10

### 3.2.3 Geófonos Digitales

Los geófonos digitales es el gran avance tecnológico comparado al avance de los sismógrafos de 15 bits a 24 bits; el chip silicón MEMS fig3.11 es el transductor de movimiento a señal eléctrica, pesa en promedio 1 gramo y tiene un tamaño de 1 cm.

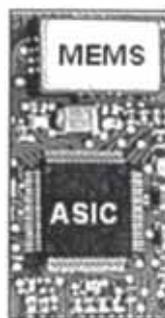


Fig.3.11

El nuevo interés en la sismica es manejar mayor números de canales ( arriba de 4000 canales grabados) la importancia de grabar en 3 componentes y de tener arreglos superiores a 18 geófonos hace difícil manipular los geófonos convencionales, a demás los geófonos convencionales pierden las ondas S.

El MEMS es un acelerómetro que trabaja por debajo de su frecuencia de resonancia, el movimiento del terreno se puede medir por su desplazamiento, velocidad o aceleración, el desplazamiento de la masa interno en el MEMS para producir una señal de salida es del orden de los nanómetros, mientras que en el geófono convencional es del orden de los 2 mm.

El MEMS maneja mayor ancho de banda de 0 a 800 Hz, la alta tensión no produce inducción en los datos adquiridos, el manejo de los datos desde la salida del MEMS son manejados de manera digital no se tiene señal analógica.

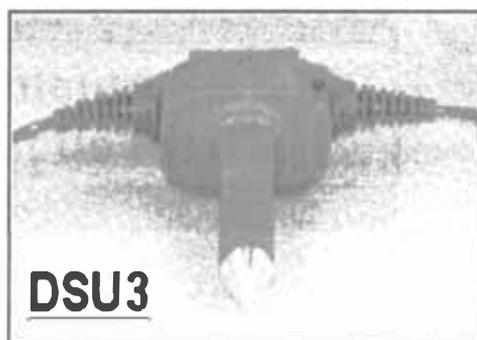


Fig 3.12

Todas estas ventajas del chip MEMS como nuevo geófono digital ha volcado a las empresas ampliar sus investigaciones.

El DSU3 fig 3.12 es un geófono digital de 3 componentes que reemplazaría a 3 grupo de geófonos convencionales.

### 3.2.4 Equipo de Prueba de Geófonos

El control de calidad de las ristras antes de iniciar las operaciones de campo o después de ser reparadas en Taller de Cables se hace con el instrumento SMT-200 fig.3.13 del fabricante Input-Output.

El instrumento SMT-200 es portátil, se le colocan los parámetros y las tolerancias que deben cumplir las ristras, el tipo de arreglo que cumplen los geófonos en serie o en serie y paralelo, la temperatura ambiente tiene incidencia sobre los resultados, tiene un termómetro digital incorporado para registrar la temperatura antes de tomar los datos, realiza las siguientes pruebas:

Resistencia del grupo (Ohm)

Frecuencia Natural (Hz)

Amortiguamiento

Sensibilidad (V/m/s)

Distorsión (%)

Resistencia dinámica (Ohm)

Polaridad de cada geófono

Para la prueba la ristra debe plantarse por 12 horas antes, el instrumento para evaluar a la ristra envía una pulso que mediante la transformada de fourier analiza la respuesta, da un resultado del grupo de geófonos.

Los resultados de las pruebas con el SMT-200 son almacenados con la numeración de cada ristra y luego son bajado a un computador por puerto serial para llevar una base de datos del control de calidad a las ristras.

SMT-200 es propiedad de Sensor marca registrada.

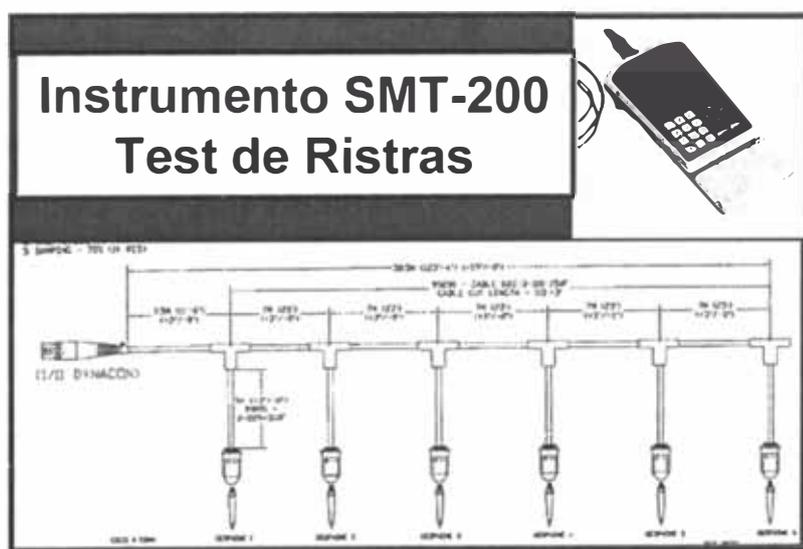


Fig.3.13

### 3.3 Electrónica de Campo

#### 3.3.1 Caja Electrónica Telemétrica por Cable Fig.3.14

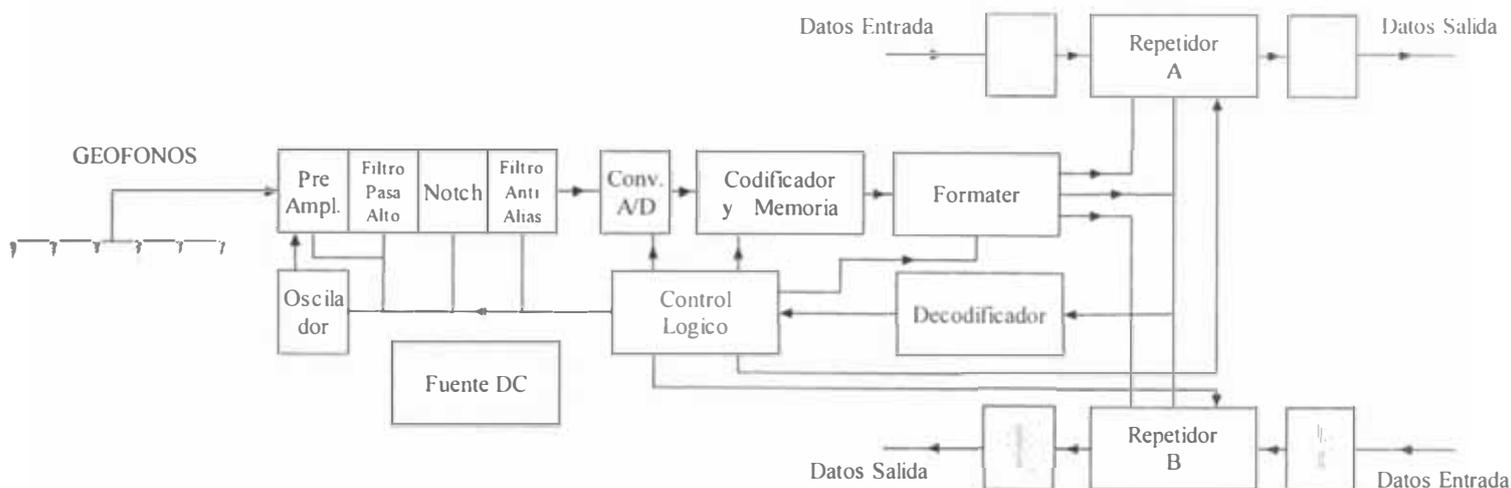


Fig 3.14

**Pre Amplificador:** Amplificador de ganancia fija que puede fijarse en ganancias de 12 DB, 24 DB, 36 DB y 48 DB en la mayoría de los fabricantes, esta ganancia puede ser seleccionada por software desde el sismógrafo; para geófonos cerca al punto de explosión se debe dar bajas ganancias para no saturar la entrada, para geófonos lejos de punto de explosión se debe dar la máxima ganancia por ser señales muy pequeñas las que se reciben.

El pre amplificador debe atenuar frecuencias bajas superficiales en forma de ruido que se dan con la explosión, amplificar con un mínimo de distorsión, el ancho de banda que debe amplificar debe estar entre los 10 Hz a 150 Hz.

Es el primer amplificador en modo diferencial quien mejora la relación señal a ruido del geófono, permite el ajuste de impedancia entre la ristra y la caja electrónica, las pequeñas señales recibidas del geofono que pueden ser del orden de 5 uv son llevadas a amplitudes mayores que le permitan ser grabada; la amplificación debe ser bien manejada para poder observar en los monitores los primeros quiebre de los geófonos cerca del punto de explosión así como los mas lejanos.

**Filtro Pasa Altos:** Atenúa las bajas frecuencias generadas por las ondas superficiales cerca al punto de explosión, actualmente se usa poco dada que la propia ristra de geófono constituye un filtro por debajo de la frecuencia natural del geófono.

El filtro puede tomar valores de 9 Hz, 12 Hz, 15 Hz.; la pendiente del filtro puede ser 12 Db/ octava fig.3.15.

**Filtro Notch:** Rechaza frecuencias de 50 Hz ó 60 Hz.; en trabajos de campo el tendido sísmico puede cruzar zonas con cables de alta tensión con frecuencias de 50 ó 60 Hz. que pueden inducirse en la señal sísmica distorsionándola, con este filtro se puede minimizar su inducción.

**Filtro Anti Alias:** Amplificador pasa bajos elimina las frecuencias altas superiores a 150 Hz para evitar que se presenten en el conversor A/D en forma de ruido y distorsionen la señal digitalizada; la pendiente del filtro es casi vertical por lo que definimos atenuación de 120 Db por encima de la frecuencia de 150 Hz. fig.3.15.

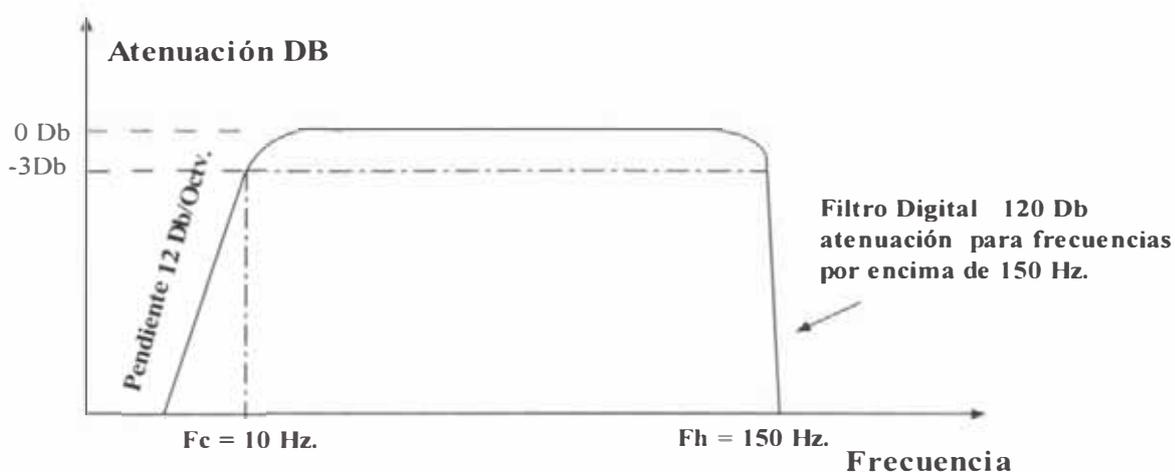


Fig.3.15

**Conversor A/D:** Actualmente los sismógrafos usan electrónica de campo de 24 bit 23 de dato + el signo, la tecnología que han estandarizado para el conversor es sigma delta y cada canal lleva un conversor A/D, los primeros sismógrafos tenían un conversor cada 4 ó 6 canales sísmicos y además el número de bits era de 15; 14 bits para datos + el signo.

En el diagrama en bloque la señal analógica de los geófonos después de ser amplificada y filtrada se convierte a digital; representación de la conversión fig.3.16

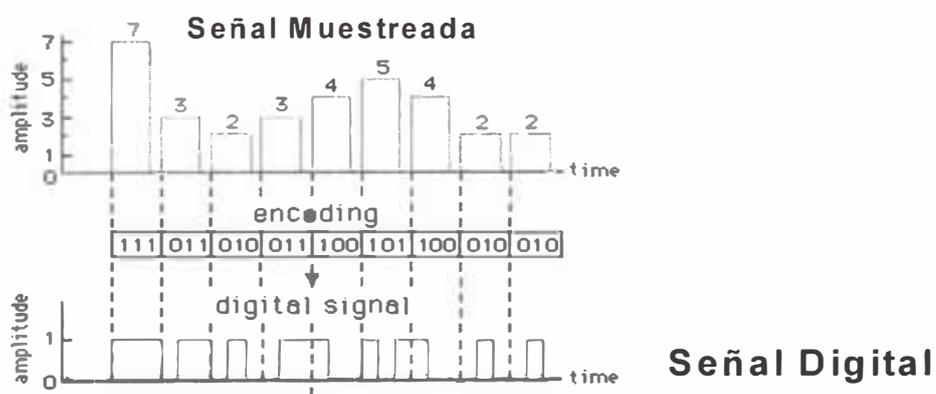


Fig.3.16

**Codificación y Memoria:** Las señales digitalizadas son codificadas para su reconocimiento y almacenadas en memoria hasta recibir la orden de envío.

**Formater:** Es la etapa donde a la señal codificada se le coloca los protocolos para poder comunicarse con el sismógrafo y el formato en que debe ser grabada en cinta o en disco duro.

**Repetidor A y B:** Constituyen la etapa de comunicación con el exterior a través de estas etapas los datos son enviados al sismógrafo en el momento solicitado y los datos de las otras unidades de campo son retransmitido por estas etapas hasta su lugar de destino, el sismógrafo.

**Decodificador:** Las ordenes enviadas por el sismógrafos a través de palabras de comando son decodificadas en esta etapa para que la caja electrónica pueda ejecutar lo que el sismógrafo esta solicitando.

**Control Lógico:** Ejecuta la orden del decodificador aplicando la señales necesarias a la etapa que el sismógrafo solicita información, pueden ser los test locales.

**Oscilador:** Es la etapa encargada de generar las ondas en frecuencia amplitud y forma para los diversos test internos que solicita el sismógrafo, es manejado por el control lógico.

### 3.3.2 Unidad Digital de Campo (FDU):

Caja electrónica fig.3.17 de un solo canal recibe la señal analógica de los geófonos, la almacena, la convierte a digital, la formatea y la envía a través del cable a la caja de cruce LAUX para transferir la información al sismógrafo.

La FDU también sirve como unidad repetidora de los demás datos en línea y genera señales analógicas con un oscilador interno para los test.



Fig.3.17 , FDU 408

La FDU 428 y 408 son similares pero la velocidad de comunicación de los datos es diferente en la FDU 408 los datos se manejan a 8 Mbps y en la FDU 428 los datos se manejan a 16 Mbps.

Las FDU's manejan 2 ganancias internas una de 0 DB para una máxima señal de entrada de 1600 mv RMS. y la otra ganancia de 12 DB para una máxima señal de entrada de 400 mv. RMS; internamente trabaja con 6 VDC para su parte analógica y con 2,7 VDC para la etapa digital.

Tiene una EEprom que contiene la identificación de la FDU y los parámetros de calibración, la alimentación de la FDU le llega a través de par fantasma como tensión alterna.

El FDU tiene un led incorporado de diagnostico cuando la ristra conectada esta defectuosa indicada por el color del led; la fig.3.18 es su diagrama en bloques.

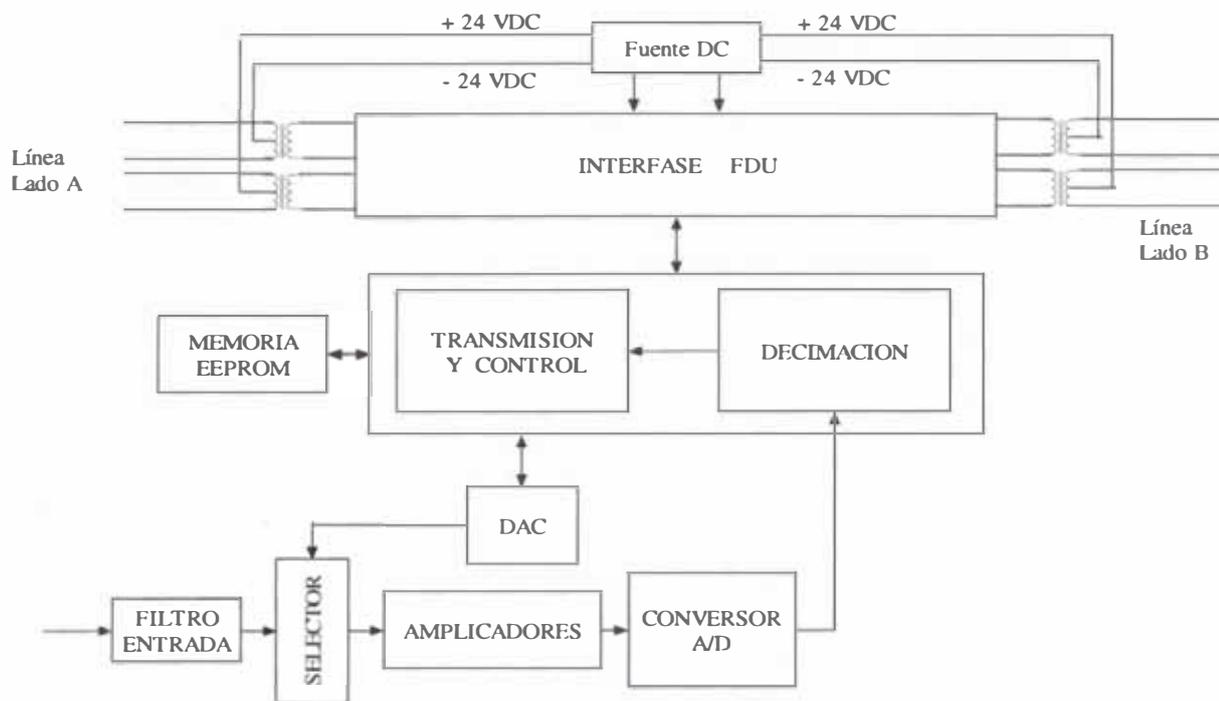


Fig.3.18

### 3.3.3 Unidad de Adquisición de líneas de cruce (LAUX):

Caja electrónica fig 3.19 que conecta la línea del tendido con el sismógrafo, en proyectos 2D o 3D; también maneja 2 puertos para interconectar con otras líneas y 2 puertos para conectarse a la línea de tendido con FDU's; cuenta con memoria temporal de 3 MB.

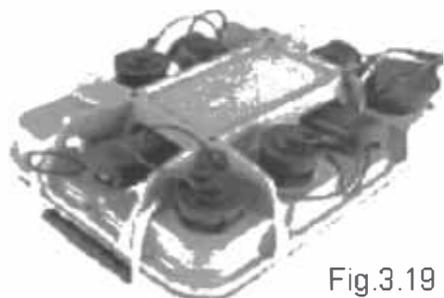


Fig.3.19

La LAUX llamada caja transversa puede manejar hasta 10,000 canales a 2 ms en total, de tendido puede manejar hasta 2000 canales por línea a 2 ms. de muestreo; la velocidad de manejo de comunicación es de 100 Mbps para la LAUX 428.

Diagrama en bloques fig.3.20

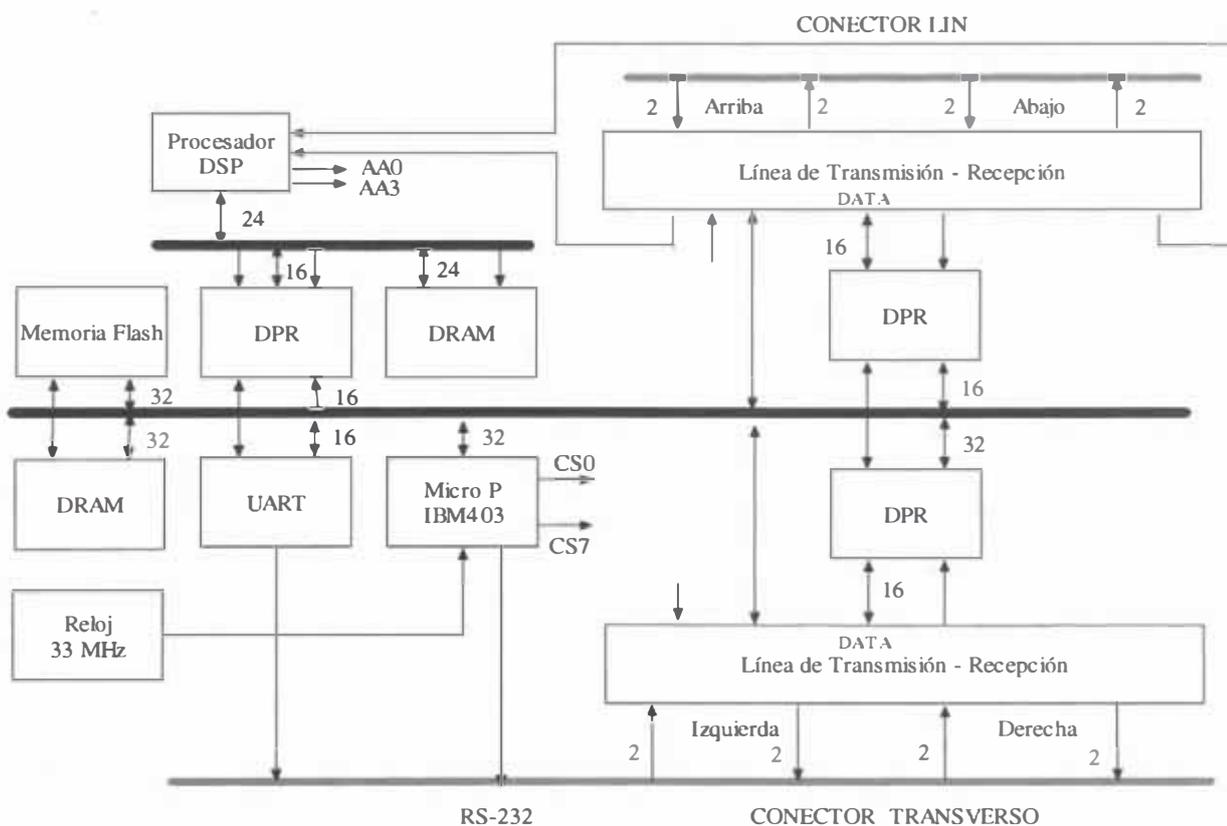
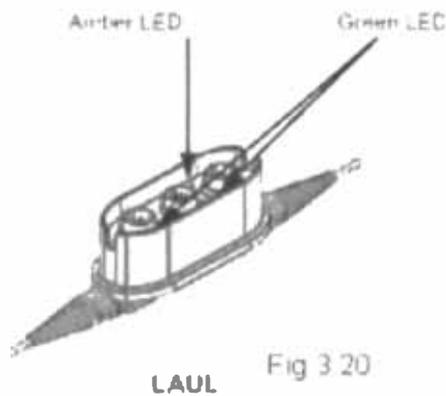


Fig.3.20

### 3.3.4 Unidad Auxiliar de Línea (LAUL):

Caja electrónica fig 3.20 que provee de energía eléctrica a las FDU's se coloca en serie cada 30 a 48 FDU's según longitud del cable; se alimenta de una batería de 12 VDC para luego enviar por par fantasma 48 V a las FDU's.

Tiene port de comunicación para diagnóstico y led de estatus, las LAUL 428 manejan velocidades de comunicación de 16 Mbps, esta preparado con dos conectores de batería para no abrir el tendido.



Unidad Auxiliar de Línea

### 3.3.5 Cable Transverso:

Cable entre el sismógrafo y la caja de cruce LAUX, es un cable de longitud grande en algunos caso se unen a través de cajas LAUX como repetidoras para cubrir distancia de 2 Km. por la lejanía entre el sismógrafo y el tendido.

Para tendidos 3D este cable también se usa para interconectar las líneas.

### 3.3.6 Cable Link:

Cables con conectores que lleva una o varias FDU's fig.3.21, estos cables se unirán en serie a través de toda una línea; el fabricante Sercel ha desarrollado incorporar la FDU al cable y fabricar cables con 1 FDU, 2 FDU y 3 FDU según proyecto a registrar.

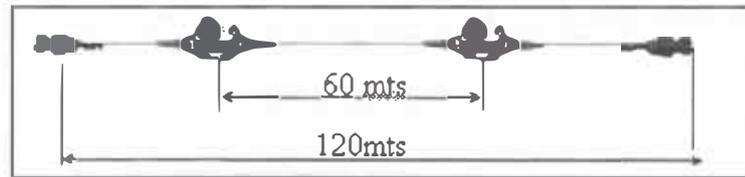
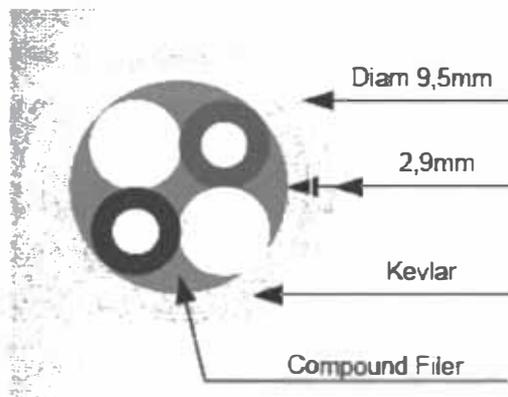


Fig.3.21

Los cables son de 4 conductores fig.3.22 y 3.23:



Diámetro del cable

Protector externo

Protector de tensión

Cuatro Conductores

Fig.3.22

A	Macho	Azul	Hembra	D
B	Hembra	Amarillo	Macho	C
C	Macho	Marrón	Hembra	B
D	Hembra	Gris	Macho	A

Fig.3.23

### 3.3.7 Especificaciones de las Unidades de Campo FDU 428

#### FDU 428

Funciones: Transmisión de datos, palabra de 24 bits conversión A/D

Impedancia de entrada: Modo Diferencial 20K $\Omega$ .

Modo Común 105 K $\Omega$

Voltajes de entrada: G1600 1,6V RMS

G400 400 mV RMS

Alimentación cruzada: > 130 Db

Filtro Paso Alto: Ninguno

Filtro Anti- Alias: 0.8 FN ( Lineal o fase Mínima)

Atenuación de banda de parada: . 120 Db mayor a Nyquist

Intervalo de Muestreo: 4, 2, 1, 0.5, 0.25 ms.

Tamaño de la Palabra: 24 bits.

Intervalo entre FDU: 8 Mbps 110 mts.

16 Mbps 90 mts.

Consumo de Energia: 120 mw a 8 Mbps, 132 mW a 16 Mbps

Ruido (3-200Hz)

G1600 450 nv RMS

G400 145 nV RMS

Rango Dinamico: 140 Db

Distorsión: -110 Db.

Precisión de la Ganancia: < 0.1 %

CMRR: 110 Db

Voltaje de operación 22 a 50 VDC.

Peso: 0.35 Kg.

Temperatura de Operación: -40 °C a +70 °C

Dimensiones

82,5 X 71,4 X 194 mm.

Profundidad de operación: 15 mts.

Consumo de Emergía

LAUX 6,7 W

LAUL 3,4 W

Temperatura de Operación: -40 °C a +70 °C

### 3.4 Sismógrafo Analógico

El diagrama en bloque de un sismógrafo analógico fig.3.24 de los años 70.

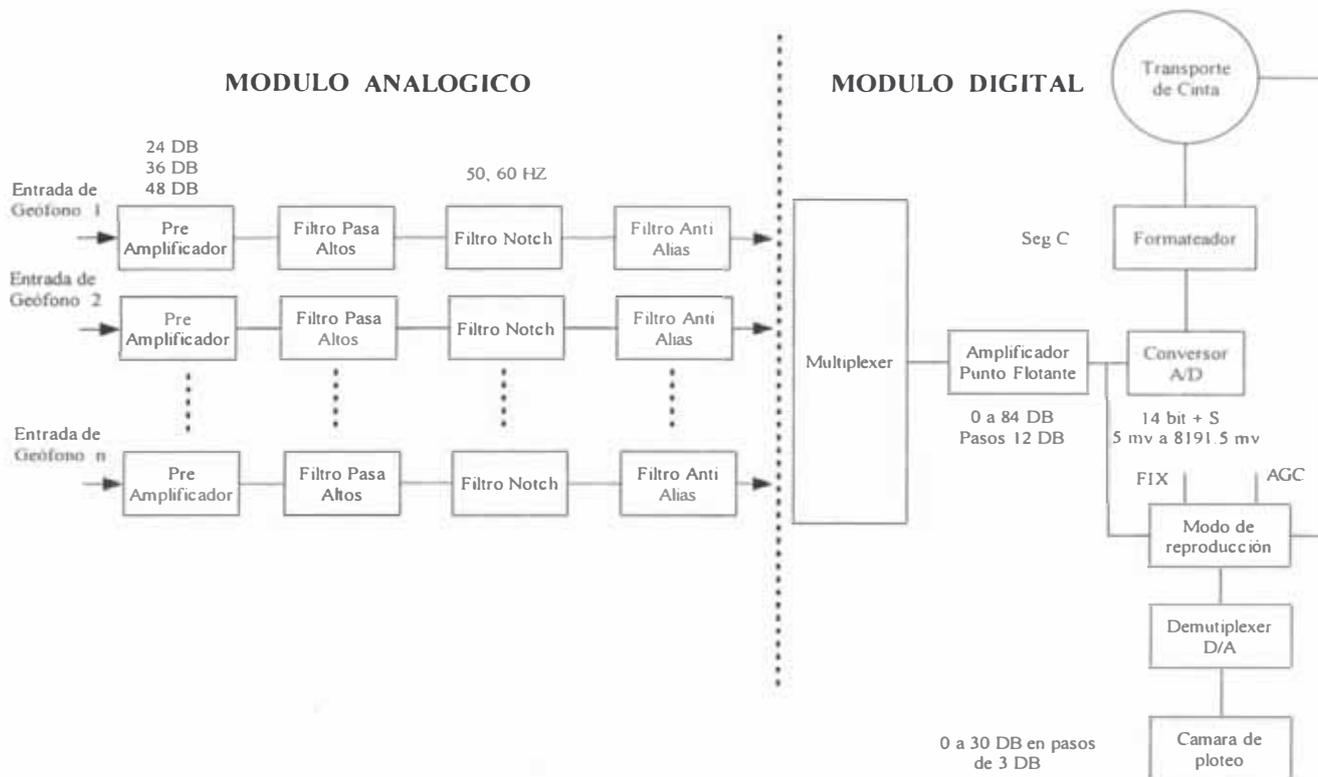


Fig.3.24

Por facilidad de transporte a hombro el sismógrafo se dividió en módulos, los lugares de uso fueron selva, desierto; el modulo analógico contenía la electrónica de entrada de geófonos, el modulo digital la parte de la conversión y formateador; un tercer modulo era solo para el transporte de cinta y un cuarto modulo para la cámara donde se plotean los datos en papel fotosensible.

La señal entregada por los geófonos era entregada a un pre amplificador que podía seleccionar ganancias de 24 DB, 36 DB y 48 DB según pruebas experimentales, estas ganancias se seccionaban manualmente por todo el tiempo del estudio.

Los filtros pasa alto no permitían el ingreso al convertor A/D de frecuencias por debajo de 10 hz por constituir ruido en la señal sísmica, en zonas pobladas se activaba el notch para rechazar la frecuencias de 50 o 60 Hz de los cables eléctricos y luego el filtro anti alias no permitía frecuencia mas allá de 150 hz por no ser parte de la señal de interés y constituir ruido.

El Multiplexer seleccionaba a la velocidad de muestreo los canales de entrada para entregarlo al amplificador de punto flotante.

El amplificador de punto flotante garantiza una amplitud para poder ser grabada en cinta y representada en papel, a pesar que la señal de geófono es pre amplificada en la entrada todavía puede ser pequeña para ser grabada con fidelidad en el transporte de cinta, la función del amplificador de punto flotante es darle amplitud a la señal de entrada al máximo valor del rango de grabación pero sin sobre pasarlo, como a cada muestra se le aplica de manera independiente una ganancia a esto es lo que se le llama ganancia de punto flotante.

El procedimiento de amplificación se realiza midiendo que la amplitud de la muestra no sobrepase la capacidad máxima de grabación, si su amplitud es menor que la mitad, se le amplifica por 2 (se agrega 6 DB de ganancia); si después de esta amplificación continua siendo menor que la máxima capacidad de grabación se vuelve a amplificar por 2. (se agrega 6 DB adicionales); este procedimiento continua y se detiene si la multiplicación por 2 sobre pasa la máxima capacidad de grabación.

Estas ganancias que recibe la señal en el IFP (amplificador de punto flotante) se graba con la muestra amplificada.

En la conversión análoga a digital las muestras amplificadas por el IFP son convertido en números binarios para luego grabarlos en un formato seleccionado; el numero de bit de estos sismógrafos era de 14 mas el signo para señales de 0.305 mv de bit menos significativo 5000 mv era el bit mas significativo.

En el formateador los datos en grupos de 14 bit mas signo son ordenados de acuerdo a un formato definido por la SEG (Sociedad de Exploración Geofísica) en esos años se usaba el formato SEG C.

La grabación en el transporte de cinta es donde finalmente los datos sísmicos quedan grabados de acuerdo a un formato escogido, cada registro va precedido por un encabezado de datos llamado 'Header" donde se graban las constantes instrumentales y también la geometría de la detonación, esta grabación también contiene espacios en blanco llamado "gap", estos gap también van al final de la cinta seguido de unos códigos de fin de registro, luego vienen espacios en blanco para iniciar el header del siguiente registro.

La grabación era en grupos de 9 bits en sentido perpendicular al eje de la cinta, por cada 8 bits (1 byte) se usaba un bit de pariedad por lo cual se grababan 9.

El monitor sísmico se obtenía en papel después de removerle la ganancia IFP, los circuitos de AGC son usados llevando las amplitudes casi constante a través del papel, aunque al inicio del ploteo para que no llegase ruido con los primeros quiebres se colocó una ganancia fija por un tiempo para bloquear la acción de AGC en los primeros instante de la grabación.

### 3.5 Sismógrafo Digital

El sismógrafo Sercel 428 fig.3.25 es telemétrico por cable y por radio es el más avanzado en el mundo de la sísmica, adquiere la información de los geófonos a través de las unidades electrónica de campo ( FDU's ), la data adquirida por el arreglo de geófonos es almacenada en la FDU's la cual espera la orden para transmitir desde las FDU's al Sismógrafo a través de los cables link's y en el sismógrafo es grabada en los NAS.

Las FDU's es de un solo canal y almacena la información de un grupo de geófonos; cuando ocurre la detonación del pozo se recibe y procesa la información de una estaca, espera que el sismógrafo le de la orden de transmitir la información de esa estaca y así recopila la información de todo el tendido activo para el disparo.

El sismógrafo 428 ha sido diseñado para un bajo consumo de baterías en línea, gran portabilidad por bajo peso, alto rendimiento en producciones diarias por mínimas reparaciones de tendido y poco personal de apoyo en revisión de tendido.

La capacidad máxima de manejo de canales externos es de 100,000 canales con 10 LCI, cada LCI puede manejar hasta 10,000 canales en la actualidad los grupos más grande del mundo manejan 15,000 canales en algunas brigadas.

#### Hardware del Sismógrafo

**Interfase de Control de Línea 428 (LCI-428):** Interfase entre la línea sísmica y el servidor y cliente que forman la arquitectura del Sercel 428, graba hasta 10,000 canales en 2 ms., se comunica con los demás periféricos a través de una red ethernet.

**Servidor:** Computador con sistema operativo Linux ó Solaris al que se le carga el software servidor e-428 para control de la adquisición de datos sísmicos, software patentado por Sercel Inc, tiene instalado dos tarjetas de red con diferente dirección para comunicarse con todos los periféricos.

**Cliente:** Computador con sistema operativo windows ó Linux al que se le carga software cliente e-428 y es la interface con el usuario para el manejo gráfico y de control en la adquisición de datos, Software patentado por Sercel Inc.

El software es cargado individualmente luego se interconecta a través del port ethernet y de un swith formando una red local con direcciones IP definidas por el fabricante.

PERIFERICO	DIRECCION IP
LCI 428	172.30.201.1
Servidor 428	172.30.128.1
	150.10.128.1
Cliente 428	172.27.128.2
ESQC PRO 428	172.27.128.10
NAS # 1	172.27.128.41
NAS # 2	172.27.128.42
Plotter	172.27.128.26

Tabla N° 3.1

**SERCEL 428 UL**

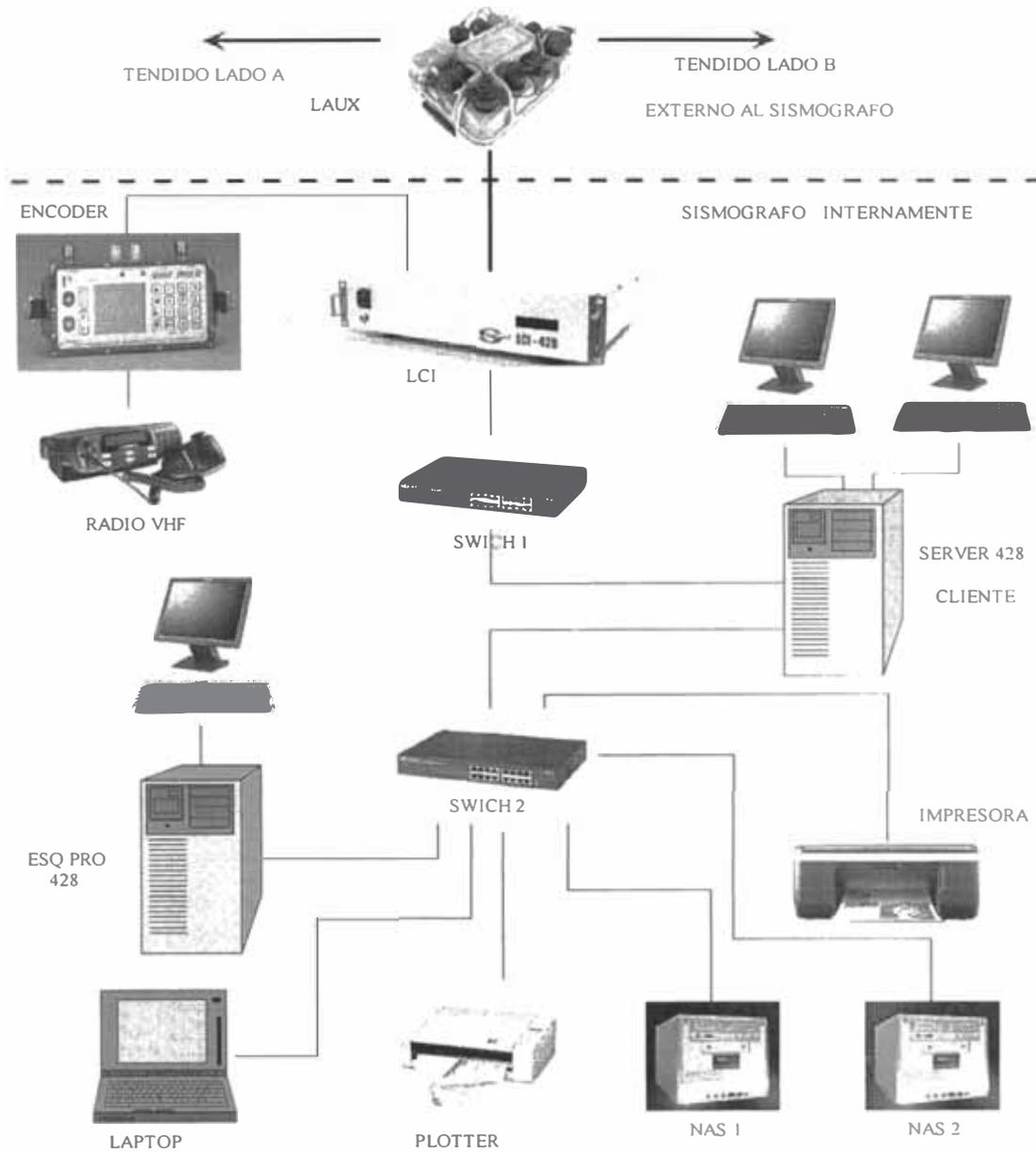


Fig.3.25

**Esqc Pro:** Computador con sistema operativo Linux o Solaris que permite llevar un control de calidad sobre los datos grabados en todos los disparos de manera grafica, lo que permite ampliar las graficas de interés para el geofísico y llevar un control estadístico de trazas malas o niveles de ruido que se le indiquen, se carga con software ESQC PRO 428.

**Encoder:** El sismógrafo tiene kilómetros de tendido y el disparador quien detona la carga normalmente también esta a varios kilómetros, para poder realizar la detonación de manera sincronizada con el sismógrafo se instala un encoger; el encoder y decoder se comunican vía radio VHF, cuando el operador del sismógrafo presiona la orden de detonación, esta orden va al encoder el cual envía una orden de disparo vía radio al decoder y otra orden al sismógrafo para empezar la grabación de los datos del tendido.

Este sistema de disparo encoder - decoder no permite que el disparador pueda detonar la carga de manera unilateral, dando gran seguridad en la manipulación del explosivo.

**NAS:** Computador encargado de almacenar los datos que llegan del tendido.

**Plotter:** Impresora térmica de papel en el que se registran cada detonación.

**Laptop:** Usuario local con permiso restringido para monitorear algunas ventanas.

**Impresora:** De red para impresión de resultados de test o de parámetros.

El servidor lleva una llave del software en el port USB el cual se activa con la inicialización del sistema con todos los periféricos, esta llave también tiene definido el número de canales que va a manejar el sismógrafo.

### Tendido de Campo

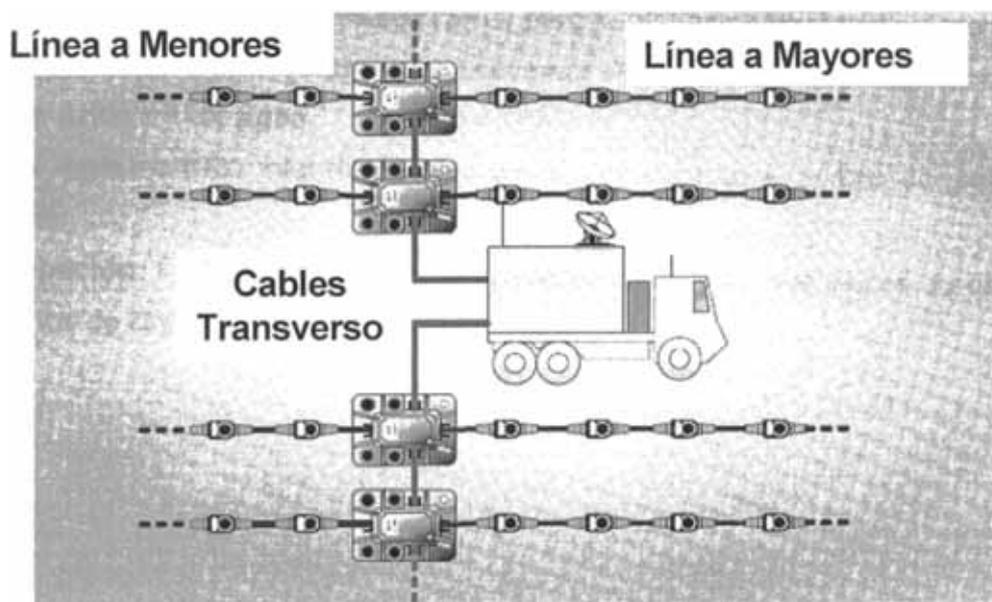


Fig.3.25

### 3.6 Parámetros del Sismógrafo

Intervalo de muestreo	2 ms.
Longitud del registro	8 seg.
Filtro de corte bajo	Fuera
Filtro Anti-alias	0.8 FN
Filtro Notch	Fuera
Formato de grabación	SEG D Demultiplexer
Tamaño de palabra	24 bit
Canales por registro	1920
Tipo de grabación	Doble NAS

**Intervalo de muestreo:** Es el tiempo en que se adquieren una muestra de todos los canales sísmicos.

**Longitud del registro:** Es el tiempo que se mantiene grabando el sismógrafo posterior a la detonación.

**Filtro de corte bajo:** Amplificador atenuador de bajas frecuencias; no se aplica a los datos de entrada se aplica en el procesamiento de datos.

**Filtro Anti-alias:** Amplificador de corte alto que se aplica para no permitir el ingreso por encima del corte alto; 0.8 FN significa 0.8 de la frecuencia de Nyquist; para 2 ms frecuencia de Nyquist 250 Hz;  $0,8 \cdot 250 = 200$  Hz frecuencia de corte alto.

**Filtro Notch:** Fuera en el sismógrafo es un parámetro que indica que están lejos de torres de alta tensión que puedan producir inducciones de 50 ó 60 Hz.

**Formato de grabación:** SEG D Demultiplexer, ultimo formato de grabación aprobado por la Sociedad de Ingenieros Geofísicos (SEG) para la grabación de datos sísmicos.

**Tamaño de palabra:** 24 bit palabra del conversor A/D en las cajas electrónicas de campo; 23 de datos + 1 de signo.

**Canales por registro:** 1920 total de canales adquiridos durante el tiempo de grabación del sismógrafo.

**Tipo de grabación:** Doble NAS; indica que la grabación será en dos discos duros NAS, no en cartuchos de cintas.

### 3.7 Especificaciones Técnicas del sismógrafo Sercel 428

#### Arquitectura de la Unidad Central

Arquitectura servidor-cliente en cualquier lugar que se localicen los clientes podrán tener acceso al servidor a través de la red. El servidor esta conectado a la unidad interfase LCI-428.

#### Servidor

Estación de trabajo: Dependiendo de la configuración no se necesita pantalla

- Mono procesador de disco dual Blade 2500 4GB para operaciones de dinamita y vibradores hasta 4000 canales a 2 ms.
- Bi procesador de disco dual Blade 2500 8 GB para operaciones de dinamita y vibradores para mas de 4000 canales a 2 ms.

Sistema Operativo: Solaris 8, Linux Red Had WS4

Software: Software Server e-428

#### Cliente

Estación: PC desktop o laptop local o remota

Pantalla: Hasta 3 clientes

Sistema Operativo: Windows 2000, XP, Linux.

Software: Software Cliente e-428 interfase de operador y despliegue de parámetros.

#### Control Interfase de Línea 428 (LCI-428)

Administración de unidades de campo de hasta 10,000 canales en tiempo real 2 ms.

Se puede llegar hasta 10 LCI-428 para tener 100,000 canales a 2 ms.

Voltaje de Operación: 110-220 VAC, 50/60 Hz.

Consumo de Energía: 6,7 W

Temperatura de operación: 0 a +45 °C

Peso: 4,1 Kg.

#### Procesamiento

- Correlación antes o después del apilamiento
- Apilamiento vertical o variado.
- Edición de pico: cero a clip
- Operación con fuentes múltiples.

#### Transmisión

Velocidad de datos en línea: 8 MBps compatible con equipos 408

16 MBps para equipos 428.

### 3.8 Pruebas Instrumentales a los Sismógrafos

- 1 CMR Rechazo al Modo Común
- 2 THD Distorsión Armónica
- 3 SENSOR RESPONSE Prueba de geófono
- 4 RUIDO INSTRUMENTAL 10-150 Hz
- 5 DRD Rango Dinámico
- 6 CROSSFEED Alimentación Cruzada

#### Rechazo al Modo Común

La pequeña señal generada por los geófonos debe ser llevada a los amplificadores fig.3.26 a través de cables, en su recorrido se inducen falsos voltajes no deseados en forma de ruido que atenuan o destruyen la señal original.

Es posible superar el problema por medio de un amplificador diferencial fig 3.27 alimentado por dos entradas invertidas los ruidos inducidos en ambos lados simularan entrada en modo común como el amplificador diferencial solo amplifica entrada de señales en modo diferencial ( señal del geófono) no amplificara los ruidos inducidos.

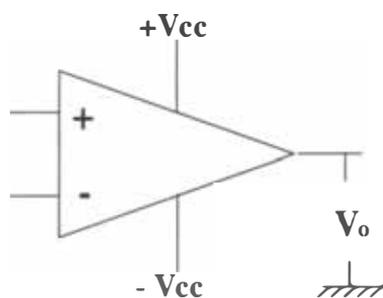


Fig.3.26

En el amplificador diferencial la ganancia  $A_d$  esta dado por la división del voltaje de salida entre en de entrada  $A_d = V_o / V_{ind}$

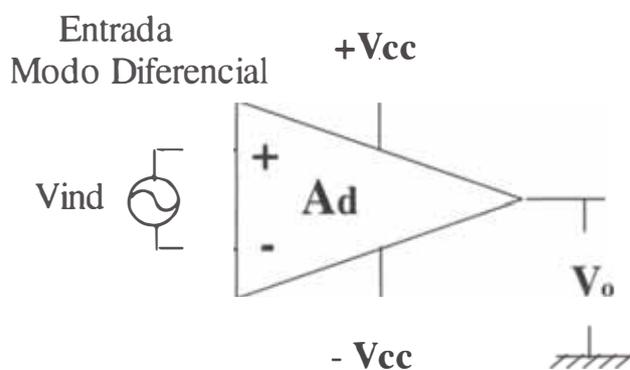


Fig.3.27

En el amplificador de ganancia común fig.3.28 la ganancia esta dada por la división del voltaje de salida entre el de entrada  $A_c = V_o / V_{inc}$

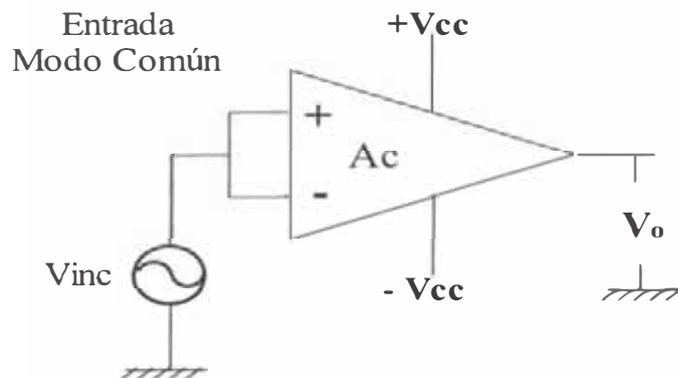


Fig.3.28

La capacidad que tiene el amplificador diferencial de rechazar señales que estén presente en ambas entradas se define como razón de rechazo de modo común o CMRR.

$$CMRR = 20 \log A_d / A_c$$

Donde:

$A_d$  es definido como ganancia de modo diferencial

$A_c$  ganancia de modo común.

El CMRR de los amplificadores debe ser mayor de 80 DB y cumplir con las siguientes características:

1. Alta impedancia de entrada.
2. Acepta señales de entrada flotantes de tierra.
3. La señal de salida es única referida a tierra.
4. Alta ganancia en modo diferencial.
5. Alta razón de rechazo en modo común.
6. Bajo nivel de ruido a la salida, 10 -150Hz
7. Baja resistencia de salida.

Es importante minimizar la fuente primaria de interferencia por ruido la cual se encuentra en cables y grupo de geófonos deteriorados o con fuga cuando llueve.

Las líneas de tensiones aéreas y subterráneas producen campos eléctricos que pueden inducir ruidos eléctricos entre los geófonos y los amplificadores.

Los fabricantes recomiendan evitar cables con corte o con fuga y mantener niveles altos de aislamiento para evitar inducciones externas que se sumen a la señal sísmica en forma de ruido.

### **Distorsión Armónica THD**

Porcentaje de cambios que se introduce a una onda senoidal pura que pasa a través de los circuitos de entrada del sismógrafo, para esto se genera una onda interna

senoidal de 31.25 hz a la entrada del pre amplificador libre de distorsión que se compara después que ha pasado por los circuitos pre amplificador y conversor A/D internos y se mide la pérdidas de linealidad que sufre la onda a la salida. .

La pérdida de linealidad en la forma de la onda es porque los componentes electrónicos a través de donde pasó han introducido armónicos que no estaban en la señal de entrada.

Los armónicos son frecuencias múltiplos de la señal de entrada; esta prueba se realiza a cada uno de los canales sísmicos y se graba en memoria del sismógrafo para cada canal.

La distorsión armónica de un canal sísmico en cajas electrónicas de campo están en el orden del 0.0005 %.

### **Sensor Response. (Respuesta de Geófonos).**

Respuesta del geófono a un pulso de cierta duración, prueba usada para medir las característica de los geófonos mientras los geófonos están plantados, para realizar la prueba la electrónica de campo utiliza el oscilador interno y genera un pulso que lo envía a la ristra, la respuesta de la ristra retorna a la entrada del pre amplificador para ser analizado a la salida del conversor A/D.

La respuesta permite analizar:

- La relación señal ruido calculada de la máxima señal de entrada al nivel RMS de ruido para cada grupo.
- Distorsión Armónica Total (THD) del geófono calculada por la transformada de fourier discreta para cada canal.
- Inclinación respecto de la vertical del promedio de geófonos plantados para cada grupo; es reportado como un porcentaje.

### **Ruido Instrumental 10-150 Hz**

Prueba para medir el ruido dentro de cada canal sísmico desde la entrada hasta el conversor A/D, cualquier señal sísmica a la entrada del pre amplificador con amplitud por debajo de este nivel quedara perdida.

Para analizar la prueba se realizan dos grabaciones la primera con una onda senoidal de amplitud conocida y con la máxima ganancia de las etapas y la segunda grabación se realiza reemplazando la señal senoidal de entrada por una impedancia en entrada en el pre amplificador especificada por el fabricante.

El ruido generado por la segunda grabación equivale a parte de la amplitud de la primera grabación; la amplitud de la señal senoidal que daría como resultado la salida del ruido de la segunda grabación es lo que se conoce como ruido equivalente de entrada.

### **Rango Dinámico.**

Rango de amplitudes que puede manejar un amplificador desde las señales mas pequeñas hasta las mas grande, si se manejan señales que sobrepasa este rango la amplitudes son recortadas y si son muy pequeñas en amplitud el ruido interno del propio canal sísmico las eliminará.

El rango dinámico se expresa en decibelios un sismógrafo actual maneja valores de 140 DB lo que quiere decir 10,000,000 veces la señal mas pequeña.

Rango Dinámico =  $20 \log 10,000,000/1 = 140 \text{ DB}$

Una de las formas de evaluar el rango dinámico es con la grabación de una onda seno cuyo pico de amplitud tienen el máximo valor que acepta el sismógrafo en algunos casos +/- 9.9994 volt, en la siguiente grabación se atenúa 72 DB, luego a 78 DB y así se continua atenuando; para pequeñas señales se coloca una carga en la entrada del pre amplificador y se mide el promedio del nivel de ruido.

El rango dinámico se determina por el máximo valor teórico entre el promedio del nivel de ruido.

### **Cross Feed (Alimentación cruzada)**

Algunas unidades electrónicas de campo reciben el ingreso de mas de un arreglo de geófonos por ejemplo algunas reciben 6 arreglos de geófonos por los cual se tiene en la unidad electrónica 6 pre amplificadores, 6 conversores A/D etc. y existe la posibilidad de que un canal cree inducción sobre otro canal ocasionando perdida de información.

Los fabricantes garantizan el aislamiento entre canal con la prueba de crossfeed o alimentación cruzada alimentando con una señal senoidal a los canales pares y midiendo si en los canales impares que nivel de señal se induce, luego se invierte la prueba alimentado con la señal senoidal a los impares y midiendo los pares.

Los valores de aislamiento entre canal deben estar por debajo de los 110 DB; en la mayoría de los casos bajos valores de aislamiento entre canal es por el ingreso del agua de lluvia a las unidades electrónicas o a sus conectores.

### **3.9 Monitores de Campo**

Los monitores de campo ó también llamados sismogramas fig.3.29 y 3.30 son los resultados impresos que se tiene después que un disparo se ha realizado, se pueden observar la cantidad de ruido, los horizontes reflectores a que profundidad se encuentran, la geometría del tendido, los primeros arribos y la onda de aire generada por la energía de la explosión.

El sismógrafo ha sido diseñado para que en el momento que los datos adquiridos pasan a ser grabado en cinta o disco duro se produzca la impresión del monitor en el periférico plotter.

Cada monitor cuentan con un encabezado donde se coloca el nombre del estudio, los operadores del sismógrafo, la hora del disparo, el numero del registro grabado, los parámetros de grabación de ese disparo, los parámetros de campo mas importantes y los de impresión del monitor.

Cada disparo grabado genera un solo monitor, muchas veces es necesario volver a repetir la impresión sobre todo en las pruebas experimentales, este proceso es llamado "playback" que lo que hace es retornar hacia atrás la ultima grabación y volverla a plotear. Ejemplos de Monitores de una línea registrada:

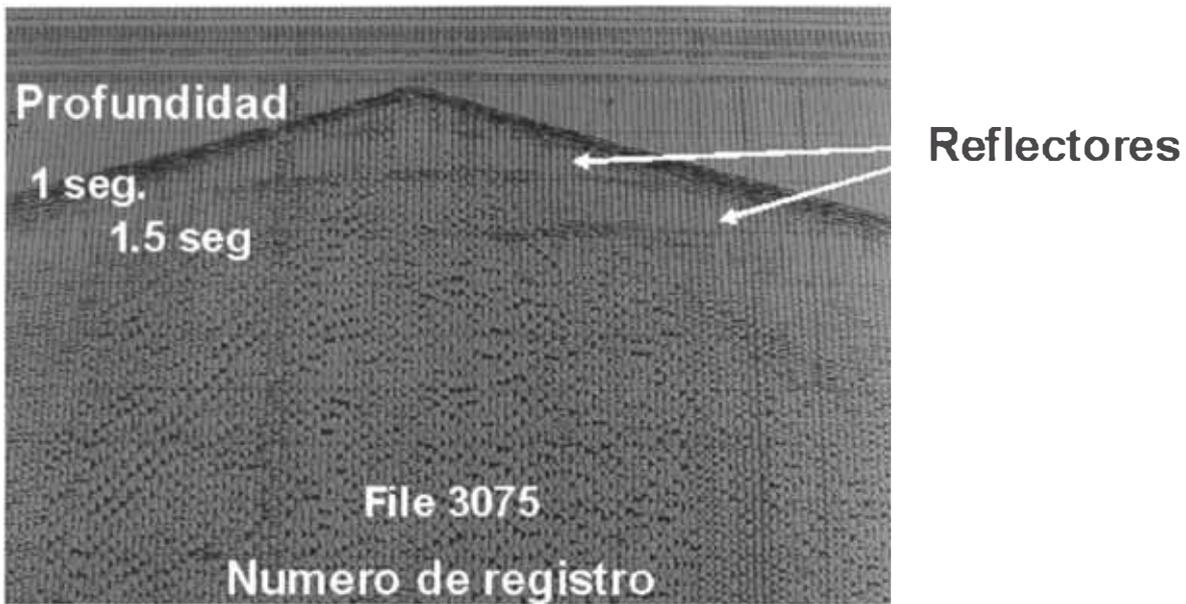


Fig.3.29

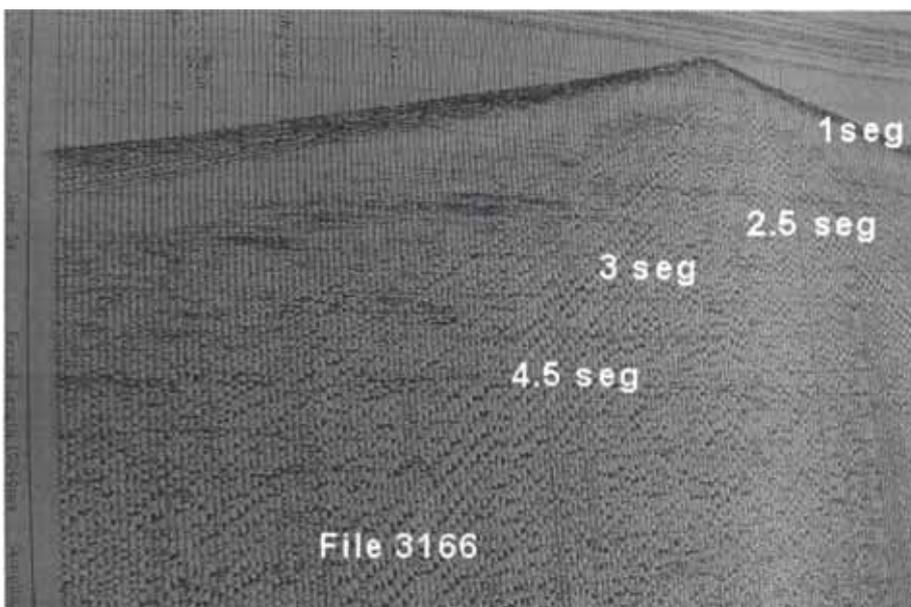


Fig.3.30

### 3.10 Equipos Periféricos

#### 3.10.1 Encoder

El encoder mas usado en estos momentos con los sismógrafos es el SHOT PRO II del fabricante Pelton (Propiedad de Input – Output), la conexión con el sismógrafo Sercel 428 fig.3.31 es a través del LCI (Interface de Control de Línea) quien realiza la siguiente conexión con el Encoder.

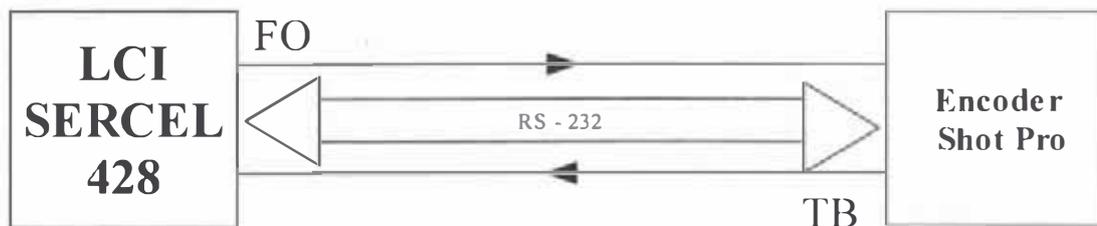


Fig.3.31

Cuando el Sismógrafo emite la orden de disparo (FO) el encoder responde con la orden para inicio de grabación (TB); además de estar ordenes previo al disparo la comunicación entre el LCI y el encoder es para preguntas por el numero del disparo, línea del punto fuente, numero del punto fuente, numero del decoder, luego de ocurrido el disparo el decoder envía al encoder todas las respuestas solicitadas y además el tiempo de Up-hole; también si hay información de posicionamiento global GPS esta comunicación es por el puerto serial RS232.

#### 3.10.2 Plotter

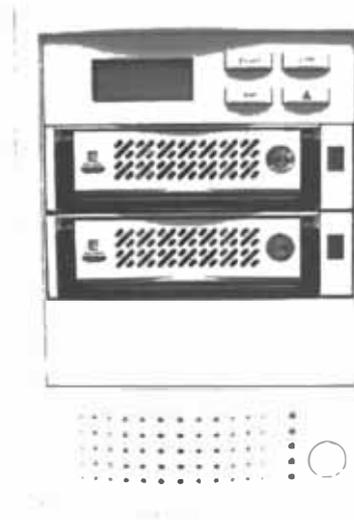
Impresora térmica donde se presentan de manera grafica los datos adquirido del sub suelo, a cada detonación se le llama sismograma ó monitor; sirve para analizar los tiempos de grabación, calidad de la información y como control de tendido, sin esta unidad no se podría hacer una detonación porque no habría forma de llevar un control de calidad de los datos adquiridos.

Los plotter han sido fabricado por Oyo Geospace, Veritas, son los fabricantes mas reconocidos en los últimos 10 años, la portabilidad y poco tamaño ha inclinado a los usuarios en los últimos años por preferir el plotter Veritas V12.

El potter Veritas V12 también se comunica a través de red local y el papel de impresión que usa es de 12 pulgadas de ancho en rollos de 500 pies, puede cambiar de velocidad de impresión de 1 a 4 pulgadas por seg.

### 3.10.3 Almacenamiento compartido en Red (NAS)

Los NAS fig.3.32 son nuevos periféricos que se han sumado a los sismógrafos en los últimos 3 años, su función principal es almacenar los datos que se adquieren de campo y compartir esta capacidad de almacenamiento con el servidor o cliente de la red TCP/IP; en el pasado los datos se grababan en cartuchos de cintas 3490, estas unidades de grabación han empezado a reemplazarse por los NAS que almacena los datos en disco duro.



**Doble NAS marca MIRAGE  
Unidades Portable**

Fig.3.32

Desde el año 2000 la tendencia de los fabricantes de sismógrafos es interconectar los periféricos con la unidad central a través de una red local TCP/IP; los NAS son básicamente un computador con sistema operativo Linux que se conecta a la unidad principal por su port de red y es configurado en la unidad principal.

Los fabricante de sismógrafo tienen un selecto nombre de fabricantes y modelos que se pueden colocar como NAS del sismógrafo; cualquier NAS del mercado no es reconocido.

Los sismógrafos cuentan con dos NAS o más dispositivos de almacenamiento para incrementar su capacidad total. Normalmente en las cintas se grababan por file en los NAS se graba por fichero, el cliente solicita el fichero completo al servidor y lo maneja localmente a través de la red.

Los bajos costos y mayor tamaño de los discos duros, están popularizando el almacenamiento en red con varios fines, es una tecnología pensada para que el usuario utilice una red de ordenadores como el servidor donde guardar su información., los

sistemas operativos que pueden usar la generalidad de NAS en el mercado son Windows, Linux o Mac y utilizar por ejemplo el software Samba para compartir ficheros.

### 3.11 Equipo de Disparo ó Decoder

El decoder fig.3.33 es el equipo que detonara el explosivo; la única persona autorizada para manipularlo es el disparador quien ha tenido entrenamiento durante varios estudios sísmicos y a veces años, al que el departamento de seguridad y los Ingenieros del laboratorio le dan cursos de seguridad sobre la manipulación del equipo, el área libre para poder detonar el explosivo y las distancias de seguridad.

Varios disparadores han muerto por falta de seguridad durante la explosión; los equipos están preparados para que no se pueda activar la carga explosiva de manera local, la detonación se realiza desde el sismógrafo a través del encoder quien en comunica con el decoder vía radio para la detonación.

El decoder para poder realizar la detonación realiza las siguientes funciones:

- 1.- Identifica la estaca a detonar y el pozo con el cable del detonador eléctrico que debe estar en corto circuito por seguridad para evitar inducciones al detonador eléctrico en el pozo.
- 2.- Procede a colocar un cable extensión de 50 mts. lo que permite alejarlo del pozo hasta su equipo electrónico.
- 3.- Planta en la boca del pozo un geófono para registrar el tiempo de pozo (Up Hole Time) que también se envía como información al sismógrafo, este geófono también tiene un cable lo suficientemente largo como el cable que va al detonador.
- 4.- El disparador haciendo uso de su equipo de disparo verifica con un galvanómetro interno que el detonador esta en buen estado; también verifica que el geófono de pozo esta en buen estado; pide a su personal que se coloque a la distancia de seguridad, se mantienen vigilancia que nadie se acerque a la zona del pozo.
- 5.- Comunica al sismógrafo para indicar que esta "listo en determinada estaca"; el operador del sismógrafo el indica que "arme" para iniciar la secuencia de detonación.

El armado en el equipo electrónico es cargar internamente dos capacitores con 400 voltios; este armado no detona la carga.

6.- Los cables del detonador extendidos y el cable del geófono de pozo conectado al decoder esperan la orden de disparo.

7.- El operador en el sismógrafo mirando su osciloscopio digital que le muestra todo el tendido espera el momento de menor ruido para presionar la orden de disparo y enviarla a través del encoder.

8.- La orden del encoder llega al decoder vía radio; la orden es decodificada en el decoder y se activa la señal para que los capacitores cargados con 400 voltios entreguen este voltaje a los terminales del detonador haciendo circular una corriente de 30 amperios que inicia la explosión.

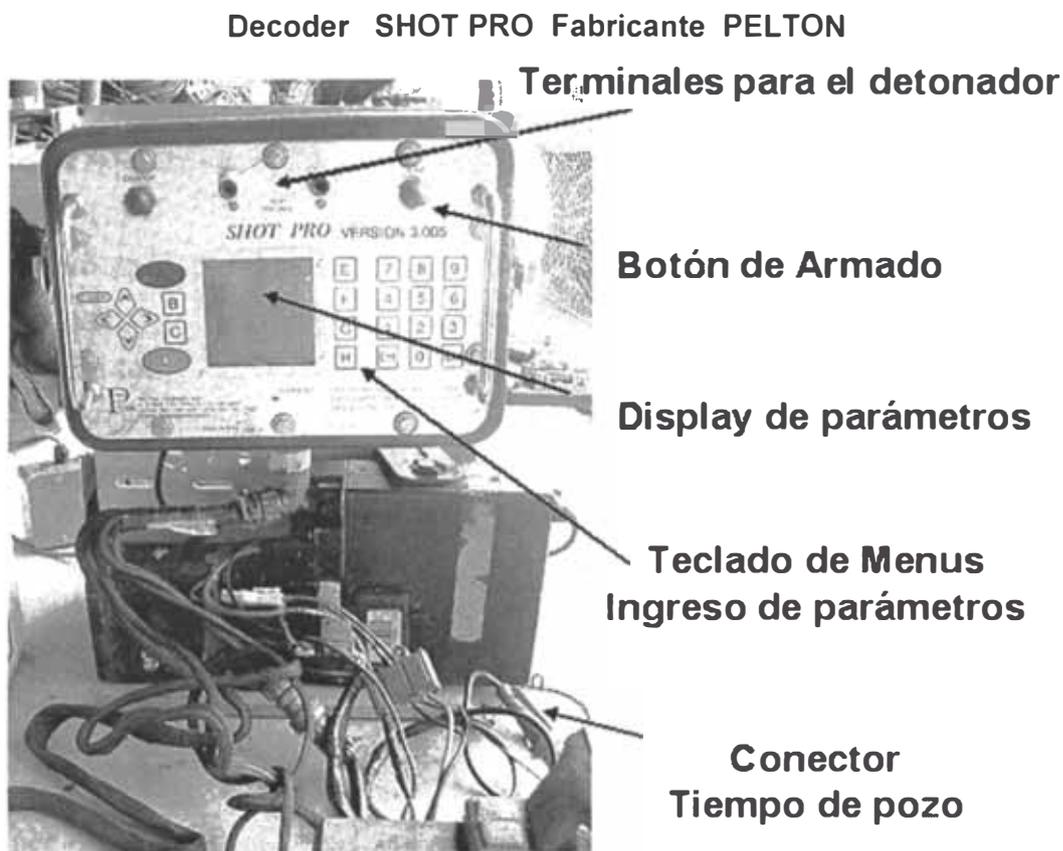


Fig.3.33

9.- Se registra el tiempo de pozo; tiempo de viaje de la onda sísmica desde el fondo del pozo a la boca del pozo; también se envía el momento de apertura del detonador llamado confirmación del tiempo de disparo, el numero de serie del equipo electrónico, la estaca detonada etc.

10.- Los equipos de disparo son varios y se codifican con diferentes números para que solo el numero seleccionado por el encoder pueda activarse; además el envío de datos para activar el decoder esta codificado, no se puede activar desde otra radio, incluso así hayan cerca otros grupos de otras empresas y con los mismos equipos.

## Especificaciones Técnicas de Decoder

### Características:

Altura:	114 mm.
Longitud:	280 mm.
Ancho:	222 mm.
Rango de temperatura de operación:	-40 °C a + 60 °C

### Voltaje de Entrada

Circuito de Control:	10 Vdc. a 36 Vdc.
Circuito de Alto Voltaje:	10 Vdc. A 15 Vdc.

### Corriente

Modo de carga:	0.9 Amp.
Modo Normal:	0.1 Amp.
Modo de Espera:	0.01 Amp.
Corriente de Disparo:	30 Amp.
Digitalización del Tiempo de Pozo:	0.5 mili seg. de muestreo.
Interfase a Sismógrafos:	Sercel 408/428, I/O imagen

## 3.12 Procesado de Datos de Campo

Control de Calidad es el centro de proceso que maneja la información sismológica grabada por el sismógrafo en el campo, su función es integrar los datos para poder ser visualizado y obtener secciones sísmicas fig 3.34, se utiliza software especializado como Micromax, Vista, Omega, los cuales cumple ampliamente con los requerimientos para el procesado preliminar.

Primero se hace revisión del arreglo geométrico y posicionamiento del arreglo fuente - receptores con ayuda del SPS; la información llega grabada en cinta 3490 o en disco duro en formato SEG D.

### Apilado de Datos

El apilamiento de los registro de campo eliminando ruidos da como resultado una sección sísmicas.

Secuencia de procesado:

- **Entrada de datos en formato:** Cada software de procesado ordena los datos de acuerdo a un formato propio.
- **Re muestreo a 4 ms.:** cambio de frecuencia de muestreo para corregir efectos de los filtros a 2ms.
- **Asignación de geometría:** verificación que los datos registrados coincidan con los SPS de cada punto.

- **Edición de trazas muertas y ruidosas:** El registro aparte de los datos grabados puede contener señales no deseadas, los software de procesado traen herramientas para eliminar trazas y señal no deseada dentro del registro.
- **Estáticas de elevación:** Compensar el efecto irregular de la topografía por diferencias en la elevación entre los disparos y los geófonos más alejados, la aplicación es para llevar los datos a un plano de referencia.
- **Recuperación de amplitud verdadera:** Renueva los efectos de la ganancia de los equipos sobre los datos, corrige las amplitudes debido a pérdida de energía.
- **Filtro de frecuencia:** Atenúa componentes de frecuencia donde la relación señal a ruido es alta.
- **Deconvolución:** Aplicada en diferentes etapas del procesamiento, es un algoritmo que se utiliza con el fin de aumentar la resolución temporal de las reflexiones.
- **Filtro pasa banda 3-8, 80-90 Hz.:** Es uno de los filtros más empleados, tiene como finalidad dejar pasar la señal en una banda limitada de frecuencias de manera que se aceptan las frecuencias que contienen energía de reflexión coherente y se rechazan aquellas frecuencias asociadas al ruido sísmico (ondas superficiales, aérea, ruido ambiental, etc.).
- **Análisis de velocidades:** Este proceso se realiza sobre un conjunto de CMP determinados, el resultado del análisis es un campo de velocidades que se usará en el apilamiento para obtener la sección sísmica. Cuando hay poca precisión en el establecimiento de las velocidades de reflexión, la calidad de la sección apilada puede degradarse, ya que las reflexiones no se suman coherentemente.
- **Apilado:** Suma de trazas de una variedad de registros sísmicos para incrementar la relación señal-ruido y mejorar las señales coherentes en un registro compuesto.

## Línea Procesada

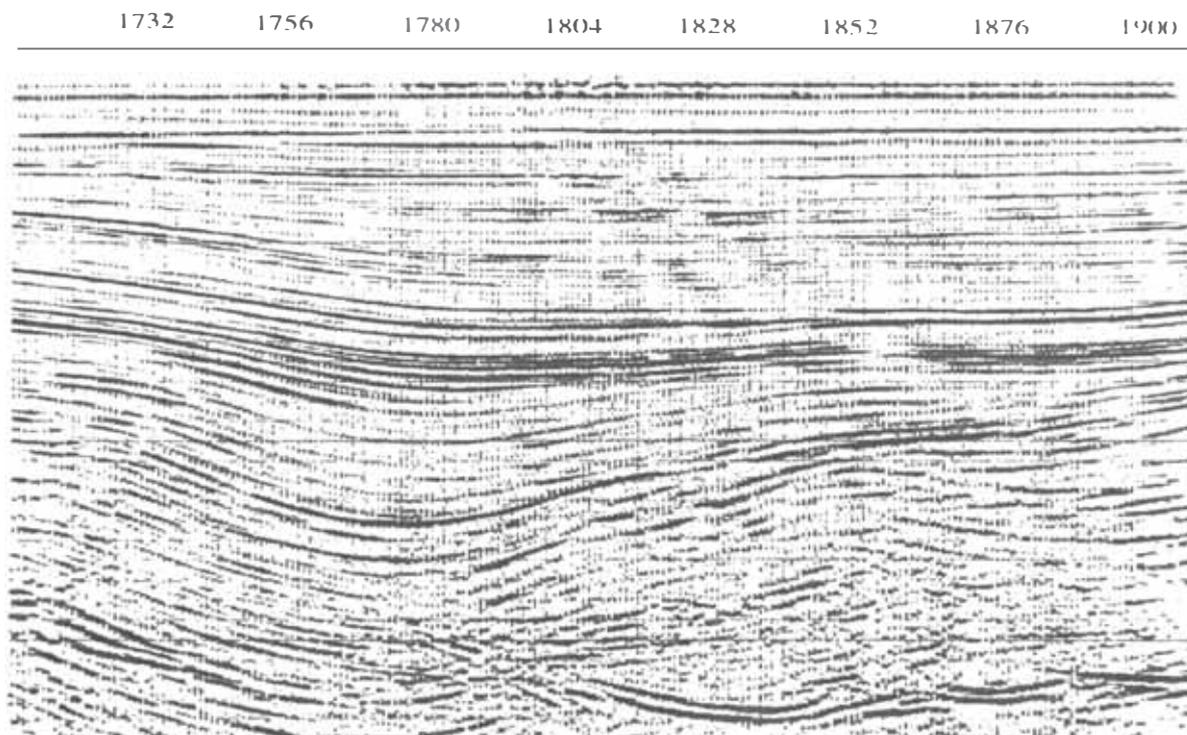


Fig.3.34

Sección sísmica mostrando el sub suelo donde las diferentes capas son estudiadas por los intérpretes que sumados a los datos geológicos los hace decidir el lugar y profundidad de la perforación en busca de probable hallazgo de petróleo.

## CAPITULO IV

### FORMATO DE GRABACION SEG

La sociedad de Exploración geofísica norma el formato estándar de grabación digital en cinta, inicialmente se usaron formatos SEG A, SEG B, SEG C y SEG Y el formato actual de grabación digital es el SED D fig. 4.1.

### FORMATO SEG D Sercel 428

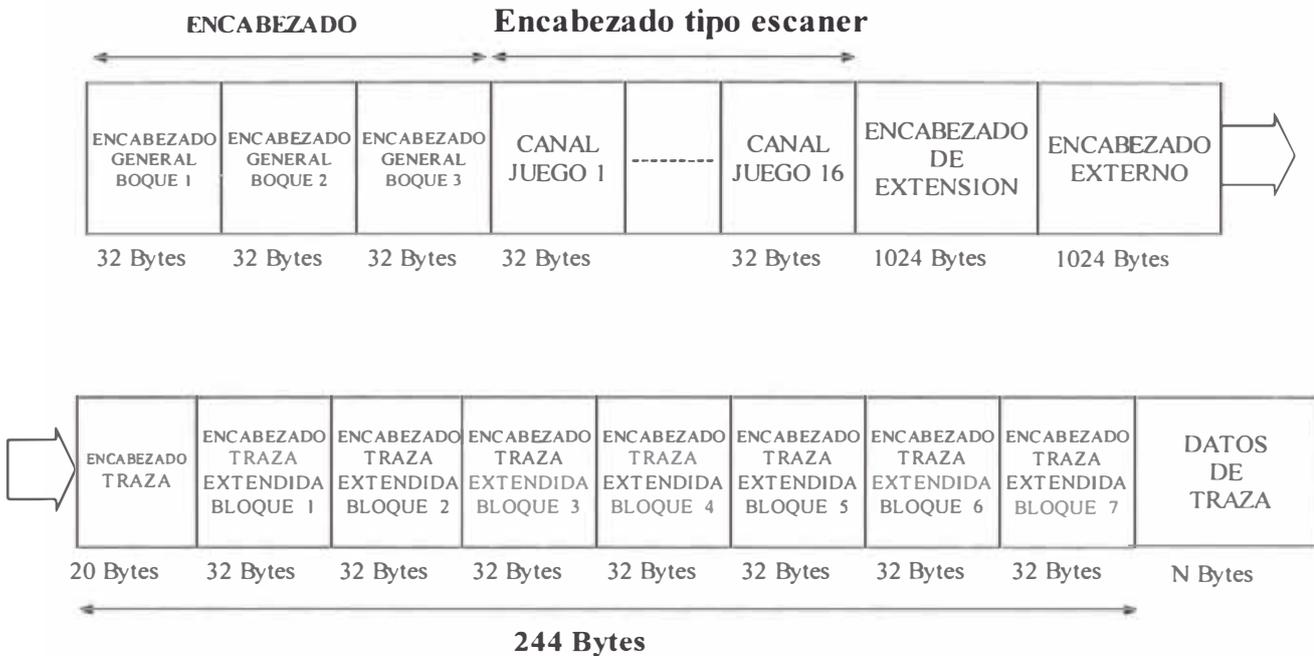


Fig.4.1

El formato SEG D que se está utilizando en la grabación de datos es demultiplexado.

La gran cantidad de información que se graba por cada registro incluyendo los parámetros requiere que el registro tenga un encabezado que defina como están ordenados los datos sobre todo el registro, siguiendo este orden cada canal sísmicos pueden ser individualmente identificados en cuanto a inicio de registro y fin de registro, la información sobre intervalo de muestreo, tipos de filtro usado y otros datos pueden grabarse.

Los avances hacen necesario que los formatos prevean intervalos de muestreo de sub milisegundo, no restrinja las pendientes de los filtros y no limite el número de canales grabados.

La familia de formatos SEG A, B, C, Y y el formato SEG-D se estructuran siguiendo un formato general.

1. Los nueve pista de una cinta de media pulgada se mantiene, pero a la extensión 6250 BPI está permitido siempre y cuando sea compatible con el estándar ANSI (ANSI 1973a, b, 1976).
2. Ambos campos multiplex y demultiplexed están representados en el formato de cinta.
3. Formatos con varias longitudes de palabra son proporcionados para permitir soluciones cuando se graba gran número de canales en intervalos de muestreo cortos.
4. Múltiples datos pueden ser grabados, cada uno operando en diferente intervalo de muestreo ó cada uno teniendo parámetros diferencias (por ejemplo, los filtros) durante el registro. Los parámetros pueden ser constantes en todo el registro o puede ser cambiado dinámicamente en un momento predeterminado.
5. La información en la cabecera especifica la longitud de la cabecera y la longitud del registro de datos.
6. Sistema numérico complemento a unos son seleccionado para la parte fraccional en todos los binarios y cuaternarios exponente de los métodos de registro de datos. Un sistema numérico de signo y magnitud es seleccionado para la parte de todos los métodos de grabación de exponente hexadecimal.
7. Cuatro byte de inicio de código de escáner es usado. Status bits se proporcionan para indicar cambios dinámicos de inicio con este escáner
8. Palabras de tiempo de sub milisegundo se incorporan para permitir intervalo de muestreo más cortos a tener una única palabra de tiempo en cada escáner.
9. Un escáner de código al comienzo seguido de una palabra de tiempo es utilizado en todos los formatos multiplexados para facilitar la sincronización de software y hardware.
10. Estipulaciones son hechas para la grabación de muestras con cierta inclinación del encabezamiento. (Esto no incluye demoras en la propagación en el cable que debe ser establecido por el usuario.)

Cada registro sísmico consta de un archivo de dos o más bloques. El primer bloque contiene la grabación del encabezado seguido de un bloque de encabezamiento que será uno o más bloques de datos demultiplexado. Cada registro sísmico está separado y lleva al final una marca de fin de registro (EOF). Dos marcas de EOF indican que no hay más datos grabados en la cinta.

#### 4.1 Descripción del Encabezado

La grabación del bloque del encabezado son tres bloques de información separados de los datos por un bloque vacío (gap) estándar internacional. La grabación de los bloques de encabezado se compone del encabezado general, una o más encabezado tipo escáner y de manera opcional encabezamiento extendido y externo. Toda la información del encabezado está representado en BCD a menos que se especifique otra cosa.

#### 4.2 Encabezado General

El encabezado general fig.4.2 es de 32 bytes de tamaño y contiene información similar a los formatos SEG A, B, C; se describen los diferentes campos del encabezado.

##### Encabezado Bloque 1

Número de Archivo	F1	F1	F1	F1	F2	F2	F2	F2	1
	F3	F3	F3	F3	F4	F4	F4	F4	2
Código de Formato	Y1	Y1	Y1	Y1	Y2	Y2	Y2	Y2	3
	Y3	Y3	Y3	Y3	Y4	Y4	Y4	Y4	4
Constante Generales	K1	K1	K1	K1	K2	K2	K2	K2	5
	K3	K3	K3	K3	K4	K4	K4	K4	6
	K5	K5	K5	K5	K6	K6	K6	K6	7
	K7	K7	K7	K7	K8	K8	K8	K8	8
	K9	K9	K9	K9	K10	K10	K10	K10	9
	K11	K11	K11	K11	K12	K12	K12	K12	10
Año	YR1	YR1	YR1	YR1	YR2	YR2	YR2	YR2	11
Día	0	0	0	0	DY1	DY1	DY1	DY1	12
	DY2	DY2	DY2	DY2	DY3	DY3	DY3	DY3	13
Hora	H1	H1	H1	H1	H2	H2	H2	H2	14
Minuto	MI1	MI1	MI1	MI1	MI2	MI2	MI2	MI2	15
Segundo	SE1	SE1	SE1	SE1	SE2	SE2	SE2	SE2	16
Código de Manufactura	M1	M1	M1	M1	M2	M2	M2	M2	17
Número de Serie de Manufactura	M3	M3	M3	M3	M4	M4	M4	M4	18
	M5	M5	M5	M5	M6	M6	M6	M6	19
Scan por byte	B1	B1	B1	B1	B2	B2	B2	B2	20
	B3	B3	B3	B3	B4	B4	B4	B4	21
	B5	B5	B5	B5	B6	B6	B6	B6	22
	I3	I2	I1	I0	I-3	I-2	I-1	I-0	23
Polaridad escaneo bloque exponente	P	P	P	P	S/BX3	S/BX2	S/BX1	S/BX0	24
Escaneo por bloque	S/B7	S/B6	S/B5	S/B4	S/B3	S/B2	S/B1	S/B0	25
Tipo de Grabación	Z	Z	Z	Z	R1	R1	R1	R1	26
Longitud de Grabación	R2	R2	R2	R2	R3	R3	R3	R3	27
Tipo de escaneo por Registro	ST/R1	ST/R1	ST/R1	ST/R1	ST/R2	ST/R2	ST/R2	ST/R2	28
Número de tipo de canales por Registro	CS1	CS1	CS1	CS1	CS2	CS2	CS2	CS2	29
Número de muestras Movidas	SK1	SK1	SK1	SK1	SK2	SK2	SK2	SK2	30
Longitud del encabezado Extendido	EC1	EC1	EC1	EC1	EC2	EC2	EC2	EC2	31
Longitud del encabezado Externo	EX1	EX1	EX1	EX1	EX2	EX2	EX2	EX2	32

Fig.4.2

Distribución de bits y bytes de los bloques 2 y 3 siguen un arreglo similar la bloque 1 definiendo otros parámetros; el encabezado bloque 2 contienen información complementaria por ejemplo longitud del registro extendido, numero de bloques de encabezado externo, numero del bloques del encabezado general etc. y el encabezado bloque 3 contiene información de numero de puntos fuentes, numero de líneas fuente, tipo de vibrador si se usa esta fuente etc.; Tabla N° 4.1 describen los campo del encabezado.

No de Byte	ENCABEZADO GENERAL BLOQUE 1
1 - 2	Numero del archivo
3 - 4	Código del formato IEEE Demultiplexado 8058
5 - 10	Constante generales
11	Ultimo dos dígitos del año
12H	Numero de bloques adicionales en el encabezado
12L - 13	Día Juliano 3 dígitos
14	Hora del día
15	Minuto de la Hora
16	Segundo del minuto
17	Código del fabricante
18 - 19	Numero de Serie del fabricante
20 - 22	Bytes por escaneo
23	Intervalo de escaneo base
24H	Polaridad
24L - 25	Escaneo de Bloque
26H	Tipo de registro 8 normal; 2 test
26L - 27	Longitud del registro
28	Tipo de escaneo por registro
29	Canales por registro
30	Numero de muestras movidas de extensión 32 bytes
31	Longitud del encabezado extendido
32	Longitud del encabezado externo

Tabla N° 4.1

### 4.3 Encabezado Tipo Escáner

El encabezado tipo escáner fig.4.3 es de 32 bytes es nuevo, se utiliza para describir los parámetros de los canales grabados [filtros, intervalos de muestreo, etc.].

El encabezado tipo escáner está compuesto de uno o más canales, se define como un grupo de canales registrados con idénticos parámetros de grabación, uno o más conjuntos de canal se pueden grabar simultáneamente dentro de un tipo de exploración.

Un encabezado tipo escáner detallado en Tabla N° 4.2 puede estar compuesto de 1 a 99 definiciones diferentes de conjunto de grabaciones. Si los parámetros dinámicos cambian son requeridos durante la grabación.

## Encabezado Tipo Escáner

Tipo de escáner	ST1	ST1	ST1	ST1	ST2	ST2	ST2	ST2	1
Número de canales	CN1	CN1	CN1	CN1	CN2	CN2	CN2	CN2	2
Tiempo de Inicio	TF16	TF15	TF14	TF13	TF12	TF11	TF10	TF9	3
	TF8	TF7	TF6	TF5	TF4	TF3	TF2	TF1	4
Tiempo de Finalización	TE16	TE15	TE14	TE13	TE12	TE11	TE10	TE9	5
	TE8	TE7	TE6	TE5	TE4	TE3	TE2	TE1	6
	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Multiplexer	MP	8							
Número de Canales	C/S1	C/S1	C/S1	C/S1	C/S2	C/S2	C/S2	C/S2	9
	C/S3	C/S3	C/S3	C/S3	C/S4	C/S4	C/S4	C/S4	10
Tipo de Canal	C1	C1	C1	C1	0	0	0	0	11
Método de Control de Ganancia	S/C	S/C	S/C	S/C	J	J	J	J	12
Frecuencia Filtro Alias	AF1	AF1	AF1	AF1	AF2	AF2	AF2	AF2	13
	AF3	AF3	AF3	AF3	AF4	AF4	AF4	AF4	14
Pendiente Filtro Alias	0	0	0	0	AS1	AS1	AS1	AS1	15
	AS2	AS2	AS2	AS2	AS3	AS3	AS3	AS3	16
Filtro Pasa Alto	LC1	LC1	LC1	LC1	LC2	LC2	LC2	LC2	17
	LC3	LC3	LC3	LC3	LC4	LC4	LC4	LC4	18
Pendiente Filtro Pasa Alto	0	0	0	0	LS1	LS1	LS1	LS1	19
	LS2	LS2	LS2	LS2	LS3	LS3	LS3	LS3	20
Primer filtro Notch	NT1	NT1	NT1	NT1	NT2	NT2	NT2	NT2	21
	NT3	NT3	NT3	NT3	NT4	NT4	NT4	NT4	22
Segundo filtro Notch	NT1	NT1	NT1	NT1	NT2	NT2	NT2	NT2	23
	NT3	NT3	NT3	NT3	NT4	NT4	NT4	NT4	24
Tercer filtro Notch	NT1	NT1	NT1	NT1	NT2	NT2	NT2	NT2	25
	NT3	NT3	NT3	NT3	NT4	NT4	NT4	NT4	26
	0	0	0	0	0	0	0	0	27
	0	0	0	0	0	0	0	0	28
	0	0	0	0	0	0	0	0	29
	0	0	0	0	0	0	0	0	30
	0	0	0	0	0	0	0	0	31
	0	0	0	0	0	0	0	0	32

Fig.4.3

No de Byte	ENCABEZADO TIPO ESCANNER
1	Numero de tipo de escaneo
2	Numero de conjunto de canales
3 - 4	Tiempo de inicio del conjunto de canales
5 - 6	Tiempo de finalización del conjunto de canal
7	Cero
8	Descala Multiplier, FDU, DSU ganancias
9 - 10	Numero de canales en este conjunto
11H	Tipo de canal; 1= Seis; 9 = Aux.
11L	No usado
12H	Numero de exponentes de sub escaneos
12L	Método de control de ganancia ( ganancia Fija)
13 - 14	Frecuencia de filtro anti alias
15 - 16	Pendiente del filtro
17 - 18	Frecuencia del filtro corte bajo
19 - 20	Pendiente filtro corte bajo
21 - 22	Primera frecuencia de Notch
23 - 24	segunda Frecuencia de Notch
25 - 26	Tercera frecuencia de Notch
27 - 30	No usado

Tabla N° 4.2

#### 4.4 Encabezado Extendido (opcional)

Definido con 1024 bytes describiendo una serie de funciones que puede realizar el equipos entre ellas longitud de adquisición, frecuencias de muestreo, tipo de fuente, ventana del tiempo de disparo, tiempo de up hole etc.

La ampliación del encabezado proporciona áreas que pueden usarse por el fabricante del equipo para poder interconectarse con diferentes equipos. Un ejemplo de esto sería un apilamiento vertical de la unidad utilizada en sincronismo con el sistema de adquisición de datos.

Los datos adquiridos dependerá de los equipos y procesos que se apliquen, será el fabricante quien defina un formato y el tipo de fuente en los byte 29 – 32 del encabezado de extensión.

#### 4.5 Encabezado Externo (opcional)

El encabezado externo proporciona áreas de grabación para información especial deseada en el bloque del encabezado. Algunos ejemplos de esto son la información del cliente, los operadores del equipo, información sobre el lugar y nombre del estudio, información del sistema de disparo o de navegación etc.

La forma de poner esta información en la cabecera ha sido facilitada por el fabricante de equipos; 1024 bytes es el tamaño del encabezado externo.

#### 4.6 Encabezado de la Traza Demultiplexada (Fabricante Sercel 428)

Bloque de 20 bytes definido por el fabricante Tabla N° 4.3:

Byte	Valor	Descripción	Notas
1-2		Numero de archivo de 4 dígitos	Si el numero > 9999 use numero de extensión.
3	01	Numero de Tipo de escáner	
4		Numero de juego de canal	
5 - 6		Numero de traza	
7 - 9		Primera palabra de tiempo	Retardo de refracción
10	7	Encabezado de traza bloque extendido	
11	0	Muestras movidas	
12		Edición de traza 00 no aplica 02 Canal muerto 03 Editado por el Sistema	
13-15		Ventana de tiempo de interrupción	
16 - 17	0	Numero de conjunto de canal extendido	
18 - 20		Numero de archivo de extensión	0 - 999999

Tabla N° 4.3

## CONCLUSIONES

1. Los sismógrafos inicialmente han sido fabricados con tecnología TTL con grandes consumo de energía (1,8 W por canal); hoy en día se fabrica con tecnología de alta integración, muy bajo consumo de energía y menor tamaño (0,14 W por canal).
2. El desarrollo del firmware en los chips especializados a dado un gran aporte en realizar mejores procesos en el manejo de datos y simplificar el tamaño físico del circuito.
3. El desarrollo del software con nuevos sistemas operativos Windows, Linux han permitido desarrollar ventanas amigables para el manejo del sismógrafo en el control de grandes líneas, revisión del tendido, grabación de datos, monitoreo del ruido ambiente antes de un disparo, mayor control de la calidad de los datos grabados.
4. Los fabricante de sismógrafos renuevan sus modelos cada 5 a 7 años de uso; el geófono de bobina recién esta empezando a ser renovado por geófonos digitales.
5. La tendencia en adquisición de datos es aumentar los canales de grabación para un disparo por encima de 2000 canales activos, esto hace poco operable manejar ristras de 6 geófonos, 12 geófonos ó 18 geófonos; cada ristra puede ser reemplazada por un solo geófono digital; los fabricante han empezado a invertir en desarrollo de geófonos digitales para bajar costos.
6. Está en desarrollo geófonos con capacidad de almacenamiento permanente los cuales se posesionan y después de un tiempo por ejemplo un mes se le hace un vaciado de datos, se evalúan todo lo registrado durante ese mes, la posible aplicación es sísmica marina profunda.
7. Países como México, Argentina, Colombia realizan estudios sísmicos permanentemente durante años; nuestro país a tenido varios altibajos, se sugiere planificar estudios sísmicos para el corto, mediano y largo plazo a fin de conocer nuestras reservas de hidrocarburo al margen de los gobiernos de turno; tenemos varios años con pequeños estudios y en la década de los 80 varios años sin estudio.

## BIBLIOGRAFIA

- Apuntes de Raúl Mera GEOSOURCE INC 1985
- Apuntes de Pacifico Concetti WESTERNGECO 1999
- SERCEL INC USA marca Registrada [www.sercel.com](http://www.sercel.com)
- INPUT / OUTPUT marca Registrada [www.iongeo.com](http://www.iongeo.com)
- SENSOR marca Registrada [www.geophone.com](http://www.geophone.com)
- Geo Space marca registrada [www.geospacelp.com](http://www.geospacelp.com)
- Exploración Sismológica Volumen I R.E. Sheriff and L.P. Geldart
- SEG Society of Exploration Geophysicist [www.seg.org](http://www.seg.org)
- Seismic Exploration J.A. Coffen
- Conceptos Fundamentales de Diseños Sísmicos 3D Steve Campbell