

**ANÁLISIS DE LAS CAPAS SUPERFICIALES A PARTIR DE DATOS SÍSMICOS
DE REFLEXIÓN E INFORMACIÓN DE UPHOLE**

ROGER MARTÍNEZ PABÓN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2005**

**ANÁLISIS DE LAS CAPAS SUPERFICIALES A PARTIR DE DATOS SÍSMICOS
DE REFLEXIÓN E INFORMACIÓN DE UPHOLE**

ROGER MARTÍNEZ PABÓN

**Practica empresarial para optar al título de
Geólogo**

**Director
MARIO GARCÍA
Doctor en Geoquímica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2005**

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

Lisímaco Martínez Ubárnez, Ingeniero de Petróleos, por su colaboración incondicional para la obtención de esta practica empresarial

Enrique Tono, Presidente de GAPS LTD., Por tener confianza y darme la oportunidad de realizar el trabajo en la empresa

Mario García, Doctor en Geoquímica y Director de esta practica empresarial, por sus valiosas orientaciones

Robin Wye, Vicepresidente de Geofísica y codirector de esta practica empresarial, por sus valiosas orientaciones

Cristian Malaver, Asistente de la Vicepresidencia de Geofísica, por su gran colaboración

Luis Alban, Geofísico, por su gran colaboración y amistad

Darío Cortina, Gerente Centro de Procesamiento de GAPS LTD., por su gran colaboración y amistad

Al Grupo de profesores de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, a quienes debo mi formación como futuro profesional en el campo de la Geología

CONTENIDO

RESUMEN	
ABSTRACT	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivos generales	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 PRINCIPIOS DEL MÉTODO SÍSMICO	4
2.1.1 Método sísmico de reflexión	6
2.1.2 Método sísmico de refracción	7
2.2 UPHOLE	8
2.3 PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN DE CAMPO	9
2.3.1 Horizonte objetivo	10
2.3.2 Estimación del fold nominal	11
2.3.2.1 Fold in line	12
2.3.2.2 Fold crossline	13
2.3.2.3 Fold total	14
2.3.3 Offset mínimo (X-min)	15
2.3.4 Offset máximo (X-max)	15
2.3.5 Intervalo de grupo	16
2.3.6 Número de canales	16
2.3.7 Tipo de tendido	17
2.3.8 Tipo de fuente y sus parámetros	18
2.3.9 Muestreo temporal y espacial	18
2.3.10 Filtros de corte bajo y alto	18

2.3.11	Longitud de las líneas sísmicas	20
2.3.12	Orientación de las líneas	20
2.3.13	Espaciamiento entre líneas	20
2.3.14	Apertura de migración	21
2.3.15	Fold taper	22
2.3.16	Longitud de registro	23
2.4	CAPA METEORIZADA (WEATHERING)	23
2.5	NIVEL FREÁTICO (WATER TABLE)	26
3.	UPHOLE Y CALCULO DE ESTATICAS	28
3.1	DETONACIÓN DETALLADA DE UN POZO PROFUNDO (“UPHOLE SURVEY” O DROMOCRONA VERTICAL)	28
3.2	ESTÁTICAS	38
3.2.1	Formulas de cálculo	40
3.2.1.1	Corrección estática para pozo profundo por debajo de la base del weathering	40
3.2.1.2	Corrección estática para pozo superficial dentro de la capa de Weathering	41
3.2.1.3	Corrección estática para fuente sobre la superficie	41
3.2.1.4	Calculo del espesor de weathering basado en la medición del tiempo de pozo con la carga dentro de la capa consolidada	41
3.2.1.5	Calculo de la velocidad de weathering utilizando el tiempo de pozo y el de los primeros arribos	42
3.2.1.6	Calculo del espesor de weathering basado en la medición del tiempo de pozo con la carga dentro de la capa consolidada	42
3.3	ESTÁTICAS EN PROMAX	46
3.3.1	Procesos para el cálculo de estáticas	46
3.3.1.1	Aplicación de estáticas por elevación	46
3.3.1.2	Aplicación de estáticas por refracción	46
3.3.1.3	Aplicación de estáticas de usuario	47
4	METODOLOGÍA	49

4.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRAFICA.	49
4.1.1 Contorneo y ploteo de mapas en surfer	49
4.1.2 Métodos de cuadrículado	50
4.2 DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DE CAMPO	51
5. DESARROLLO	57
5.1 ADQUISICIÓN Y REGISTRO DE UPHOLE EN LA LÍNEA	57
5.2 INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS ARCHIVOS .DAT EN EL SOFTWARE UPHOLE	58
5.3 ADECUACIÓN DE LOS DATOS TIPO TEXTO A FORMATO EXCEL PARA CALCULO DE ESTÁTICAS DE USUARIO	60
5.4 CUADRICULADO Y MAPEO	61
5.5 DIAGRAMA DE FLUJO PARA CREACIÓN DE MAPAS DE CONTORNOS EN SURFER FOR WINDOWS	62
5.6 DIAGRAMA DE FLUJO DE ENTRADA DE DATOS A PROMAX	70
5.7 CONTORNEO DE LA VELOCIDAD DE WEATHERING A PARTIR DE TIEMPO UPHOLES DE POZOS DE REGISTRO (SP)	73
6. RESULTADOS	74
7. CONCLUSIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 1	Arreglo sísmico fuente – receptor	5
Figura 2	Método sísmico de reflexión	7
Figura 3	Método sísmico de refracción	8
Figura 4	Uphole	9
Figura 5	Horizonte objetivo	10
Figura 6	Parámetros de diseño sísmico	12
Figura 7	Fold inline	13
Figura 8	Fold Crossline	14
Figura 9	Fold Total	14
Figura 10	Offset mínimo	15
Figura 11	Offset máximo	16
Figura 12a	Tendido off-end	17
Figura 12b	Tendido Split-Spread	17
Figura 13	Muestreo temporal	19
Figura 14	Filtros de corte bajo y corte alto	19
Figura 15a	Mapa de adquisición sísmica 2D	20
Figura 15b	Mapa de adquisición sísmica 3D	21
Figura 16	Apertura de migración y fold taper	23
Figura 17	Modelo de capa meteorizada por refracción	26
Figura 18	Nivel Freático	27
Figura 19	Distribución simétrica de geófonos	35
Figura 20	Primeros arribos de un geófono situado a una distancia grande	35

Figura 21	Primeros arribos t-Pc	36
Figura 22	Refracciones críticas para Pc menores que el espesor de weathering	36
Figura 23	Distancia Xo mínima para el rayo directo	37
Figura 24	Arreglo de fuente receptor para pozos profundos	43
Figura 25	Correcciones Estáticas para fuentes Superficiales o poco Profundas	44
Figura 26	Correcciones Estáticas para cargas dentro de la Capa de Weathering	44
Figura 27	Correcciones Estáticas para carga por debajo de la Capa de Weathering	45
Figura 28	Mapa de líneas con ubicación de upholes Pihuicho 2D	52
Figura 29	Mapa de contornos del espesor de la capa meteorizada	54
Figura 30	Mapa de contornos de la velocidad de la capa meteorizada	55
Figura 31	Mapa de Contornos de la velocidad del la capa submeteorizada	56
Figura 32	Cámara McSeis-160MX registrando un Uphole	57
Figura 33	Curva de uphole con resultados de espesor velocidad de weathering y velocidad de subweathering	59
Figura 34	Correcciones estáticas graficadas a partir del resultado de la tabla 2	61
Figura 35	Profundidad de carga (Pc) por encima (1) y por de bajo (2) de la capa de weathering.	73
Figura 36	Mapa de líneas con ubicación de Upholes Lote 68 2D	75
Figura 37	Mapa de contornos del espesor de la capa meteorizada	76
Figura 38	Mapa de contornos de la velocidad de la capa meteorizada	77
Figura 39	Mapa de contornos de la velocidad de la capa submeteorizada	78
Figura 40	Mapa de contornos de la velocidad de la capa meteorizada	79
Figura 41	Apilado Bruto con aplicación de estáticas por el método de elevación	82
Figura 42	Apilado Bruto con aplicación de estáticas por el método de	

	elevación utilizando los tiempos de pozo profundo para el cálculo de la velocidad V_0	83
Figura 43	Apilado Bruto con aplicación de estáticas por el método de refracción	84

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos de topografía perforación y registro de uphole	58
Tabla 2. Calculo de correcciones estáticas apartir de los datos de uphole	60
Tabla 3. Formato de registro del encabezado ukooa p1/84	65
Tabla 4. Datos de los parámetros del encabezado ukooa p1/84	65
Tabla 5. Datos de los parámetros del encabezado ukooa p1/84	67
Tabla 6. Formato de parámetros de encabezado cmb/geo	67
Tabla 7. Parámetros de Registro de Datos CMB/GEO	68

RESUMEN

TITULO: ANALISIS DE LAS CAPAS SUPERFICIALES A PARTIR DE DATOS SISMICOS DE REFLEXION E INFORMACION DE UPHOLE.*

AUTORES: Roger Martínez Pabón**

PALABRAS CLAVES: Sismica, Apilado, Promax, Uphole

DESCRIPCIÓN:

El principal objetivo de este proyecto fué generar calculo de correcciones estáticas a partir de datos de upholes, para introducirlos a Promax y compararlo con el apilado obtenido directamente de los datos sísmicos de reflexión. Las correcciones estáticas dentro de la secuencia de procesamiento de la información sísmica de reflexión son bien importantes para eliminar los efectos que sobre los tiempos de reflexión tienen los cambios de elevación de la superficie del terreno, las variaciones del espesor y velocidad de la capa meteorizada (weathering).

Los upholes son una herramienta que viene siendo utilizada en brigadas sísmicas de reflexión con el objetivo de garantizar que los pozos para detonar en el registro sísmico de reflexión están por debajo de la base del weathering; en este trabajo se quiso aprovechar esa información, para de manera externa a Promax realizar el calculo de estáticas que luego fué introducido en la base de datos de Promax. Este trabajo integra la información del levantamiento de upholes en 16 puntos dentro del proyecto sísmico Pihuicho 2D, con el cual se generaron mapas de contornos con surfer, así como la información sísmica de reflexión y de uphole en 40 puntos del proyecto sísmico Lote 68 2D, con la cual también se generaron mapas de contornos del espesor velocidad del weathering y velocidad del subweatherin y un calculo de correcciones estáticas

La principal contribución de este trabajo es la implementación de una herramienta como los upholes tratando de integrarla con la información sísmica de reflexión para no utilizarla como una información aislada; sino aprovecharla y generar calculo de estáticas que pudieran mejorar la calidad de la sección sísmica apilada, para compararla con la sección sísmica obtenida con el calculo de corrección estática de los datos de sísmica de reflexión directamente. De este trabajo se concluye que las estáticas generadas con los datos de upholes no mejoran ni superan de forma sustancial la calidad de la sección apilada con los datos de sísmica de reflexión, cuyo cálculo de correcciones estáticas es confiable siempre y cuando los pozos para detonar la carga superen la base del weathering.

* Proyecto de grado.

** Facultad de ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director del proyecto Mario García.

SUMMARY

TITLE: ANALYSIS OF THE SUPERFICIAL LAYERS TO LEAVE OF SEISMIC DATA OF REFLECTION AND INFORMATION DE UPHOLE **

AUTHORS: Roger Martínez Pabón **

KEY WORDS: Seismic, Heaped, Promax, Uphole

DESCRIPTION:

The present project contains the design of the layout of the routes for the structured The main objective of this project to generate calculates of static corrections starting from upholes data, to introduce them to Promax and to compare it with the one heaped obtained directly of the seismic data of reflection. The static corrections inside the sequence of prosecution of the seismic information of reflection are very important to eliminate the effects that it has more than enough times of reflection they have the changes of elevation of the surface of the land, the variations of the thickness and speed of the layer weathering.

The upholes is a tool that he/she comes being used in seismic brigades of reflection with the objective of guaranteeing that the wells to detonate in the seismic registration of reflection are below the base of the weathering; in this work he/she wanted to take advantage that information, for in an external way to Promax to carry out the I calculate of statics that then fué introduced in the database of Promax. This work integrates the information of the upholes rising in 16 points inside the seismic project Pihuicho 2D, with which maps of contours were generated with surfer, as well as the seismic information of reflection and of uphole in 40 points of the project seismic Lot 68 2D, with which maps of contours of the thickness speed of the weathering and speed of the subweatherin were also generated and an I calculate of static corrections

The main contribution of this work is the implementation of a tool like the upholes trying to integrate it with the seismic information of reflection for not using it like an isolated information; but to take advantage of it and to generate I calculate of statics that could improve the quality of the heaped seismic section, to compare it with the seismic section obtained with the I calculate directly of static correction of the data of seismic of reflection. Of this work you concludes that the statics generated with the upholes data don't improve neither they overcome in a substantial way the quality of the section heaped with the data of seismic of reflection whose calculation of static corrections is reliable provided the wells to detonate the load overcome the base of the weathering.

* Final Document of geology Grade work.

** Department of Physiochemical Engineering, School of Geology, Managing Mario Garcia..

1. INTRODUCCION

Consciente de la necesidad de interactuar cómo empresa integradamente con la universidad entidades como Geophysical acquisition and processing services (GAPS LTD) dedicada a ofrecer servicios en el campo de la exploración petrolera en las áreas de adquisición y procesamiento sísmico en brigadas tanto en Colombia como en Perú, Ecuador y Bolivia. Han permitido realizar una práctica empresarial en la cual fue asignado como Codirector del trabajo el Físico Robin Wye Vicepresidente de geofísica.

Dentro de las brigadas a realizar se encuentra la contratada con la empresa Argentina San Jorge, proyecto denominado lote 68 2D en Perú, interesada en realizar adquisición de 12 líneas sísmicas 2D y 40 uphole; los resultados de este trabajo permitirán manejar información de uphole para generar cálculo de correcciones estáticas.

En este trabajo se describe de manera general los principios del método sísmico, además de los parámetros de adquisición de campo que se deben tener en cuenta al momento de diseñar un programa de adquisición sísmica así como estudios geofísicos alternos a la reflexión sísmica como los uphole y secuencia de procesamiento de campo

El manejo de la información de uphole se llevo a cabo mediante el uso del software Uphole de oyo con datos digitales existentes en el reporte final de operaciones Pihuicho 2D 1988 realizado para la compañía petrolera Pluspetrol en Perú. Los

upholes son herramientas utilizadas en la industria sísmica con el fin de tener un mejor conocimiento del comportamiento de la capa meteorizada (weathering), en cuanto a las variaciones de velocidad y espesor de esta además de la velocidad de la capa infrayacente (subweathering).

Por tal razón en este trabajo se supervisó la calidad y el cumplimiento de los parámetros geofísicos en la adquisición de los datos sísmicos de reflexión y upholes, generando una metodología de manejo de la información para generar cálculo de correcciones estáticas a partir de la información de upholes, llevar los cálculos al sistema de procesamiento con el software promax y comparar los resultados con los obtenidos del procesamiento de información de reflexión.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos generales.

- Supervisar la adquisición de datos sísmicos de reflexión y de uphole en la brigada sísmica lote 68 2D
- Generar una metodología de manejo de la información de sísmica de reflexión y uphole

1.1.2 Objetivos específicos.

- Manejar información de uphole a partir del software Uphole de Oyo y surfer for Windows
- Generar mapas de contornos de espesor de weathering; velocidad de weathering y subweathering en surfer for Windows a partir de la información de uphole, que permitan observar el comportamiento de la capa superficial en el área de estudio.
- Generar cálculo de correcciones estáticas a partir de los datos sísmicos de upholes y de reflexión y comparar los resultados.

2. MARCO TEORICO

2.1 PRINCIPIOS DEL MÉTODO SÍSMICO

La sísmica se basa en la propagación y reflexión de ondas elásticas en la tierra, debidas a cambios en la distribución de la densidad y la velocidad del subsuelo con la profundidad. El método está conformado por fuentes de energía que generan ondas, y detectores de movimiento o presión colocados en superficie, encargados de recibir las ondas procedentes del subsuelo. Dicha señal es amplificada y registrada digitalmente para ser finalmente procesada en una forma interpretable en términos geológicos de estructura, estratigrafía y contenido de hidrocarburos (petróleo, gas).

Brevemente, el método sísmico se puede representar de la siguiente manera:

Se realiza una explosión con dinamita especial, la cual envía un pulso acústico agudo y corto con excepción de ciertas fuentes como los vibradores al interior de la tierra. Esta onda penetra profundizando dentro de las rocas hasta encontrar interfaces en las que hay cambios en las propiedades (velocidad y densidad) de las rocas. En las interfaces se genera una replica de la onda descendente que rebota hacia la superficie (reflexión). El pulso que logra pasar (refracción), continúa descendiendo, debilitándose gradualmente y enviando ecos hacia la superficie cada vez que haya cambios en las propiedades del medio. Mientras más grande el cambio (impedancia acústica), más fuerte será la onda reflejada. (Véase Figura 1).

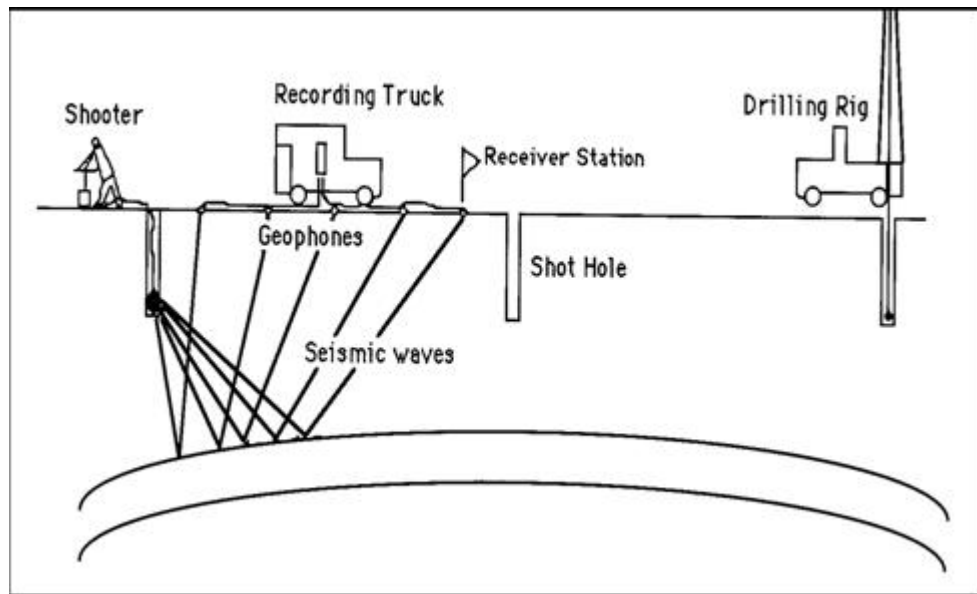


Figura 1. Arreglo sísmico fuente – receptor (Tomado de Evans, B. 1997)

Los detectores (geófonos o hidrófonos) son los encargados de oír los ecos provenientes del subsuelo. Usualmente la duración de registro es de unos 5 segundos de grabación. Los últimos ecos captados pueden llegar a ser muy débiles, del orden de 1/1.000.000 de la intensidad de los primeros. Por eso, la sensibilidad de los detectores es bastante alta.

Las propiedades acústicas características y predecibles de las rocas son definidas por el coeficiente de impedancia acústica (Z), que es el producto de la densidad (ρ) por la velocidad (v).

$$Z = \rho v$$

La fortaleza con que una reflexión es generada en una interfaz puede ser medida en términos del coeficiente de reflexión (CR) de las interfaces de dos medios 1 y 2. Esto es:

$$CR = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1)$$

El coeficiente de reflexión puede ser positivo o negativo dependiendo si hay rocas más blandas sobre más duras o viceversa.

Si una reflexión positiva en una sección sísmica tiene una cierta forma, entonces una reflexión negativa tendrá la misma forma pero invertida (o sea un pico será un valle y viceversa sobre el registro). La dirección del primer evento observado en el registro sísmico se llama polaridad.

La onda sonora viaja al reflector y vuelve. Por consiguiente, el tiempo desde el disparo hasta su recepción por el geófono se llama tiempo doble de tránsito, que incluye ambos recorridos.

El conjunto de reflexiones recibidas en un punto se denomina traza. La traza es analizada en términos de: Amplitud (fortaleza de la reflexión), frecuencia (numero de oscilaciones por segundo ó Hertz), ancho de banda (rango de frecuencias presentes) y fase (forma relativa y posición en tiempo de una reflexión).

El espaciamiento entre fuente y receptores se denomina offset. El punto común en profundidad (cdp) es el punto en el subsuelo que es registrado por diferentes offsets. El número de veces que es registrado el mismo cdp se denomina cubrimiento o fold y tiene unidades porcentuales: dos trazas con el mismo cdp producen 200% de cubrimiento.

Existen dos métodos: el de reflexión y el de refracción:

2.1.1 Método sísmico de reflexión. Cuando una onda sísmica en su viaje hacia el subsuelo encuentra unas interfaces en las que cambian las propiedades del medio (velocidad y densidad) parte de la energía asociada con la onda sonora es reflejada dependiendo del ángulo con que haya incidido la onda en las interfaces. (Véase Figura 2).

En la evolución sísmica, el método de reflexión fue posterior al de refracción; pero la dificultad de reconocer en el sismograma la gran variedad de impulsos reflejados, que actualmente la técnica de registrar un punto varias veces (cdp), y el desarrollo de filtros la han superado sacando ventajas sobre el método de refracción, ya que muestra claramente un panorama de alta resolución de los diferentes estratos.

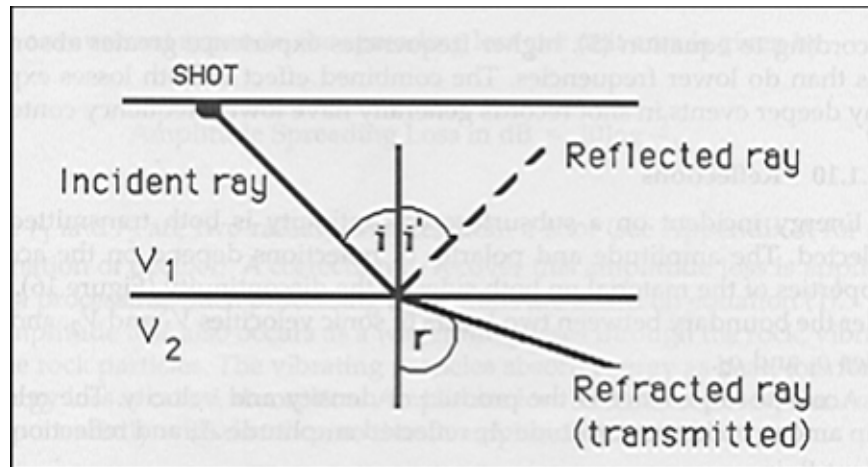


Figura 2. Método sísmico de reflexión (Tomado de Evans, B. 1997)

2.1.2 Método sísmico de refracción. Teniendo en cuenta la ley de Snell para dos velocidades (v_1 y v_2) de dos medios diferentes, existe un ángulo de incidencia llamado ángulo crítico, en el que toda la energía se refracta a lo largo de las interfaces. Esta energía se detecta en un levantamiento de refracción y se diferencia con la onda reflejada por que son las primeras en arribar a la superficie, esto debido a que la onda al refractarse alcanza a pasar la interface y viajar a mayor velocidad en el segundo medio (v_2). (Principio de Fermat). (Véase Figura 3).

El método de refracción presenta resolución relativamente baja sobre todo en terrenos difíciles; no es fácil su corrección en el procesamiento de datos, además no

se pueden hacer apilados de cdps para estimación de velocidades, pero resulta muy eficiente para determinar profundidades de los horizontes, en particular, los más someros. Ambos métodos tienen características propias, por lo cual en ocasiones es conveniente el complemento de los dos, en una misma brigada de exploración.

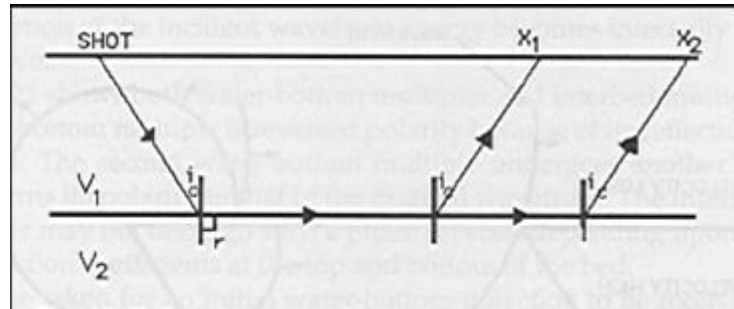


Figura 3. Método sísmico de refracción (Tomado de Evans, B. 1997)

2.2 UPHOLE

Consiste en la detonación sucesiva de una serie de cargas a diversas profundidades en un pozo de tiro, para determinar las velocidades de las formaciones cercanas a superficie y algunas veces las variaciones de calidad del registro sísmico, así como, para establecer el espesor de la capa meteorizada más superficial, de interés en la adquisición sísmica. (Véase Figura 4).

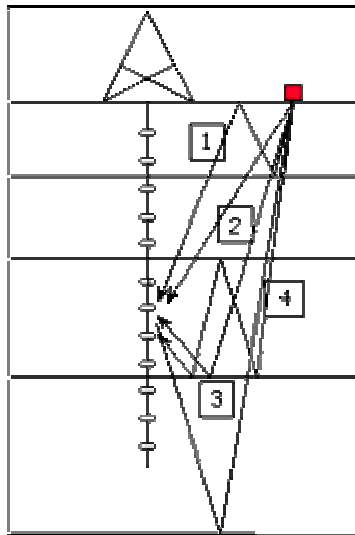


Figura 4. Uphole (Tomado de GAPS Geophysics Course, 1998)

2.3 PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN DE CAMPO

La planificación de un diseño sísmico 2D o 3D no solo depende de los parámetros técnicos sino de las interpretaciones personales que puedan darse. Como primera medida, para evaluar un área determinada se necesita tener conocimiento del horizonte objetivo (Véase Figura 5).

2.3.1 Horizonte objetivo. Cuando se planea un trabajo sísmico, con anterioridad se ha realizado un estudio geológico de superficie con el propósito de definir las características del subsuelo que se esperan resolver con la sísmica, tales como: tipos de trampas (estructural, estratigráfica o combinación de ambas), profundidad del objetivo, buzamientos máximos esperados, espesor de los horizontes objetivos. También se pueden apoyar en datos sísmicos anteriores para lograr un diseño más óptimo.

Dependiendo de la zona principal de interés (objetivo primario), el fold, tamaño del bin o cdp areal y el rango de offsets a ser usado para el muestreo sísmico, necesitan estar relacionados con las propiedades físicas del objetivo primario. La dirección de las características geológicas principales tales como fallas o canales, puede influenciar la dirección de las líneas receptoras y/o líneas de fuentes

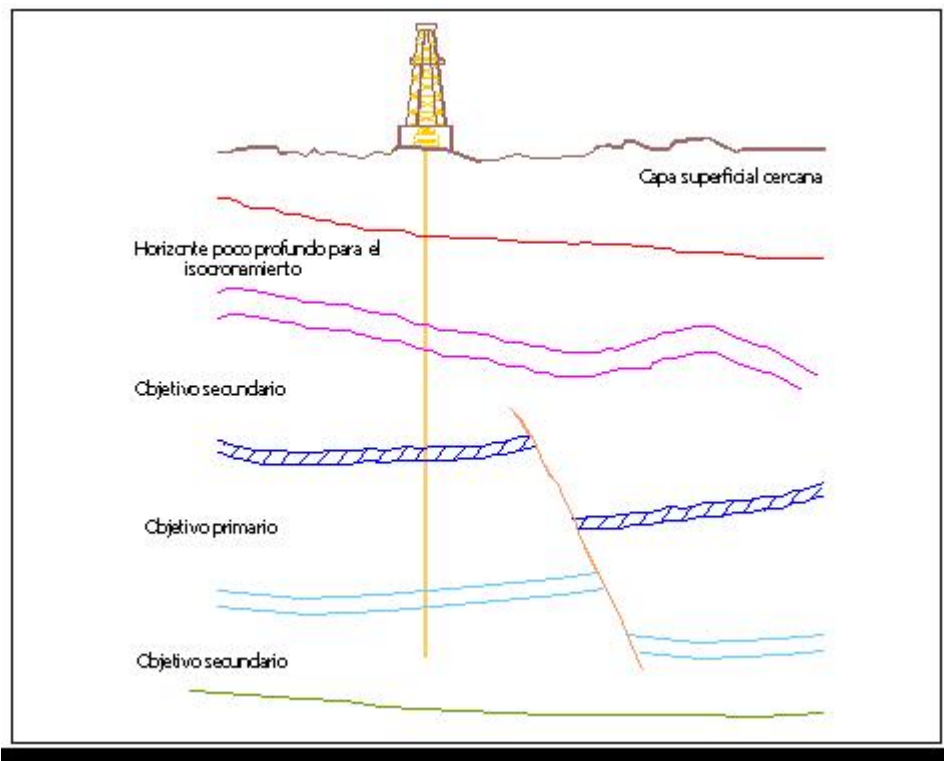


Figura 5. Horizonte objetivo (Tomado de Galbraith, M., 1995)

Las zonas secundarias u otros objetivos regionales pueden tener un mayor impacto sobre el diseño. Un objetivo secundario poco profundo puede requerir offset cercanos muy cortos, lo cual genera arreglos de mucho detalle a nivel de geometrías fuente-receptor en superficie. No obstante, cobran especial interés los objetivos someros, que aunque con bajo fold, permiten muestrear y corregir los datos sísmicos al omitir la información superficial de la capa meteorizada durante el procesamiento.

Los objetivos más profundos y las consideraciones de migración de los datos por cuestiones de geometría de los eventos, pueden hacer que los offsets lejanos del estudio sean sustancialmente más grandes que el máximo offset para el muestreo en profundidad.

Los 7 parámetros claves que se necesitan para el diseño de un estudio sísmico bidimensional o tridimensional. (2D, 3D) son: fold, tamaño del bin (CDP), offset mínimo, offset máximo, apertura de migración, Fold Taper y longitud del registro. (Véase Figura 6).

2.3.2 Estimación del fold nominal. El fold es el número de veces que un bin (CDP) es muestreado con una geometría fuente-receptor. El fold será decidido basándose en estudios anteriores (2D o 3D), una evaluación cuidadosa de offset mínimo, offset máximo y recordando que DMO¹ y migración 3D demandan un incremento del fold, en la etapa de diseño.

Si todos los offset están dentro del rango aceptable entonces se puede fácilmente determinar el fold con la siguiente fórmula:

$$\text{Fold} = N_s * N_c * b^2 * 100 (\%)$$

¹ Dip Moveout: Corrección sísmica por buzamientos estructurales.

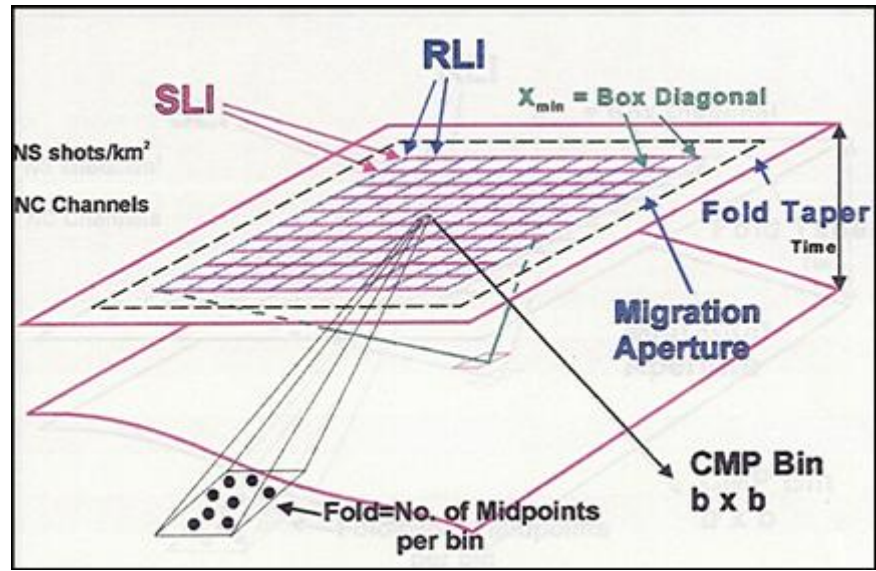


Figura 6. Parámetros de diseño sísmico (Tomado de Galbraith, M., 1995)

Donde:

N_s = número de puntos de fuente por unidad de área

N_c = número de canales

b = dimensión del bin (asumiendo bin cuadrado)

2.3.2.1 Fold in line. Para un estudio con el modelo straight-line, el fold in-line es definido similarmente al fold en un prospecto 2D; es decir, el cubrimiento se lleva a cabo en dirección paralela a las líneas de receptores:

$$\text{Fold in line} = \frac{1}{2} \frac{(\text{No. Canales/Línea}) (\text{int. Receptores})}{\text{Intervalo de Fuente}}$$

Donde: No. Canales/Línea, corresponden a los receptores activados para cada fuente.

Int. Fuentes: Puede ser Int. Disparo (2D) o Int. de líneas de disparo (3D).

Existen muchas maneras para determinar el fold, pero todas se basan en que un punto de fuente crea tantos cdps como números de canales vivos registrados, por fuente disparada. (Véase Figura 7).

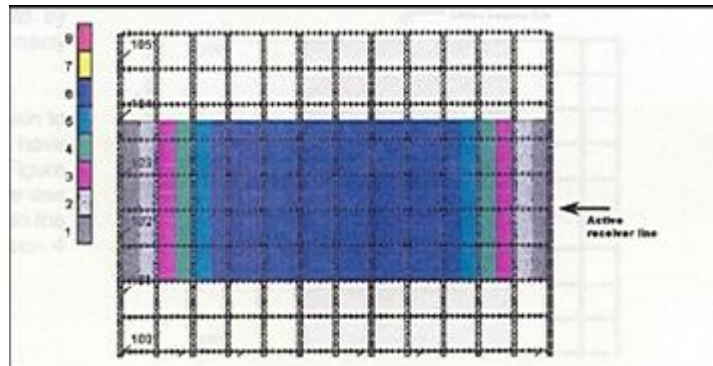


Figura 7. Fold inline (Tomado de Galbraith, M. 1995)

2.3.2.2 Fold crossline. El fold x-line es simplemente la mitad del número de líneas receptoras vivas en el patch² registrado. (Véase Figura 8).

² Arreglo de receptores activos para cada fuente. Está representado por una (2D) o más (3D) líneas de receptores, cada una con un número determinado de canales o receptores activos.

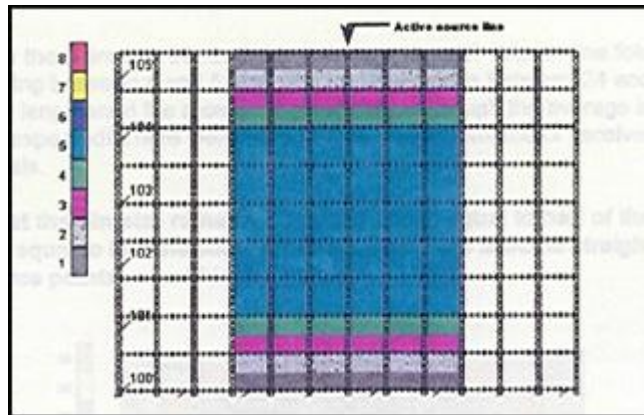


Figura 8. Fold Crossline (Tomado de Galbraith, M. 1995)

Fold x-line = (numero de líneas receptoras en el patch) / 2. = nrl / 2

2.3.2.3 Fold total. El fold total nominal es nada más que el producto del fold inline por el fold xline:(Véase Figura 9).

Fold total nominal = (fold inline) *(fold x-line)

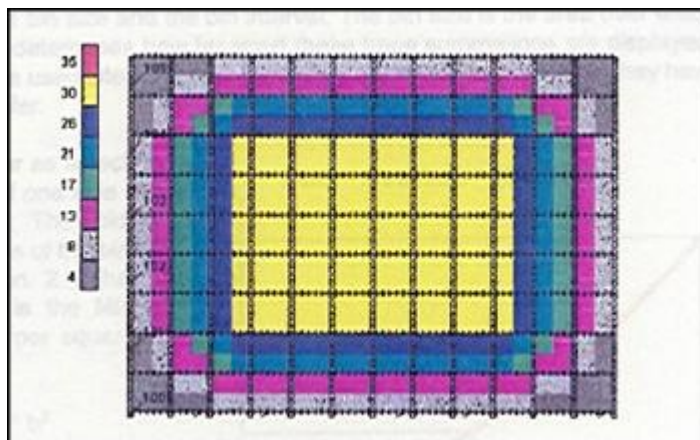


Figura 9. Fold Total (Tomado de Galbraith, M. 1995)

2.3.3 Offset mínimo (X-min). Distancia de la traza más cercana o distancia mínima de registro. Se calcula dependiendo del reflector de interés más superficial y de la naturaleza, intensidad y extensión del ruido generado por la fuente. Para un prospecto 3D, la diagonal mayor entre una fuente y un receptor ubicados entre dos líneas receptoras y dos líneas de fuente adyacentes, es el offset mínimo máximo (Véase Figura 10).

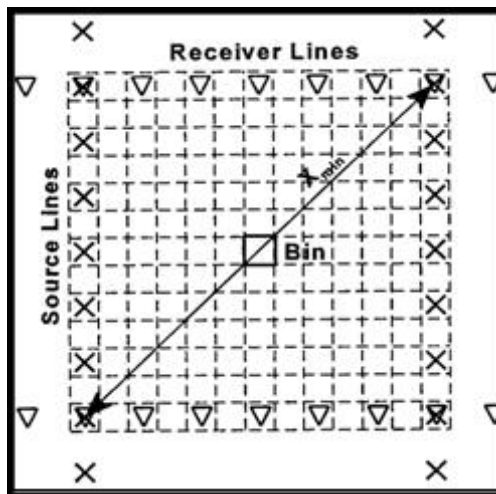


Figura 10. Offset mínimo (Tomado de Galbraith, M. 1995)

2.3.4 Offset máximo (X-max). El offset máximo requerido dependerá de la profundidad de los reflectores más profundos que se desean representar. También se deben tener en cuenta los conceptos de NMO (Corrección de datos por velocidades ó normal moveout), el buzamiento, la atenuación de reflexiones múltiples (reflexiones con frecuencias armónicas) que interfieren a las reflexiones primarias y el grado de resolución o muestreo deseado. (Véase Figura 11).

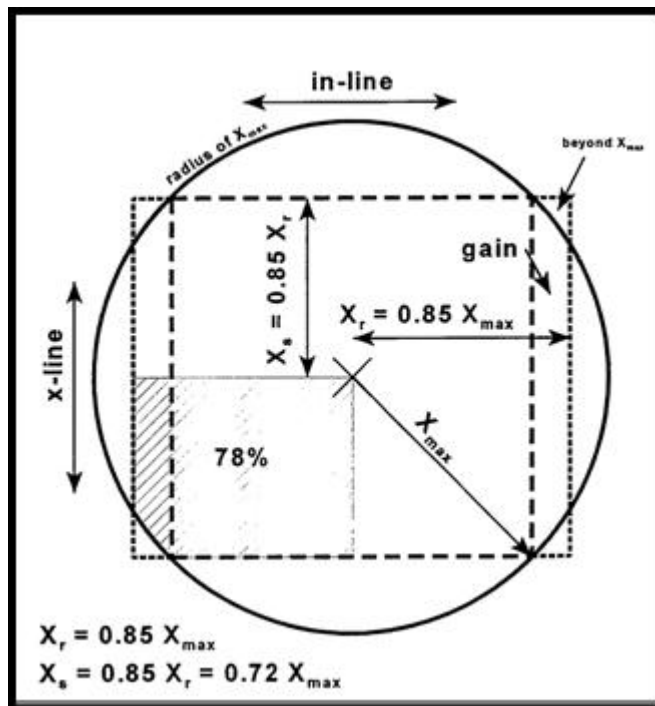


Figura 11. Offset máximo (Tomado de Galbraith, M. 1995)

2.3.5 Intervalo de grupo. Distancia entre dos receptores, la cual se determina por el grado de resolución lateral deseado.

2.3.6 Número de canales. Corresponde al número de receptores o grupos de geófonos que contiene el tendido del cable sísmico activo para registrar una fuente. Los primeros registros sísmicos se realizaron con sólo doce canales (EVANS, B. 1997). Pero con el objetivo de mejorar los registros y contando con la ayuda de los avances electrónicos en la adquisición sísmica, se han implementado tendidos con un aumento en el número de canales siendo los más comunes los de 24, 96, 120 y actualmente 240, 320, y 480 canales por registro.

2.3.7 Tipo de tendido. Depende del sitio del tendido donde se comience con el primer disparo, de tal manera que si tiene receptores a ambos lados del disparo es llamado tendido partido ó split, y si se empieza a disparar por un lado de la línea de receptores es llamado off-end o end-on.(Véase Figuras 12^a y12^b)

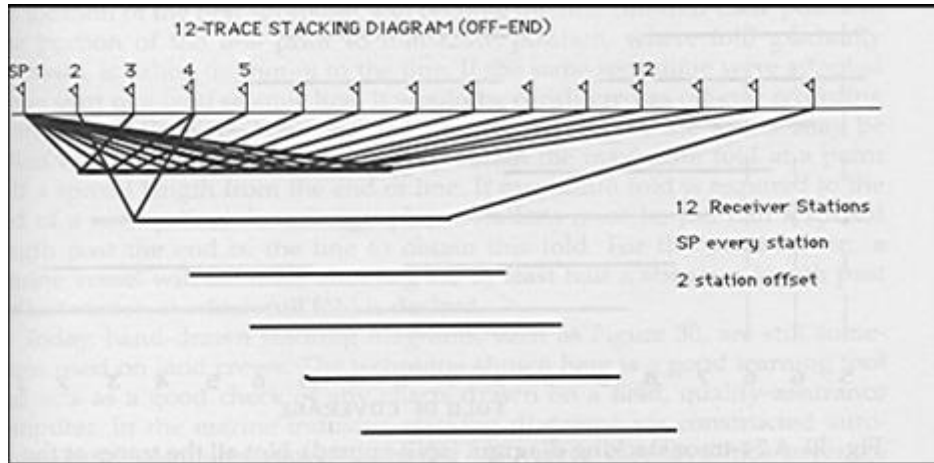


Figura 12a. Tendido off-end (Tomado de Evans, B. 1997)

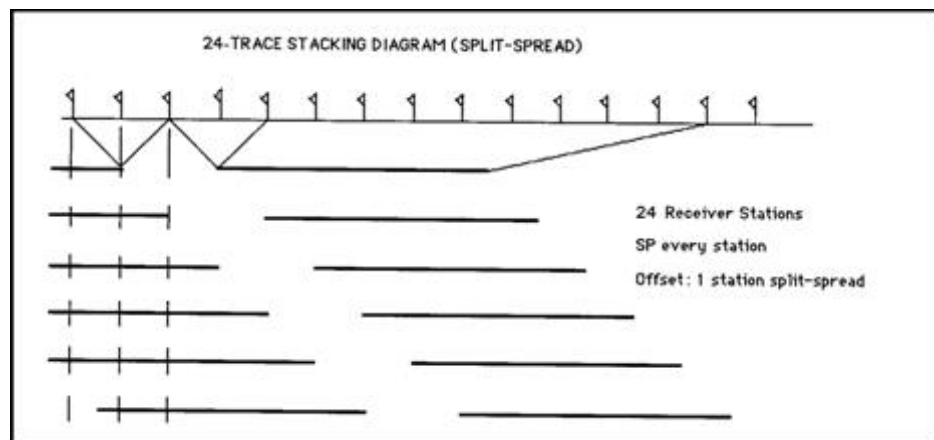


Figura 12b. Tendido Split-Spread (Tomado de Evans, B. 1997)

2.3.8 Tipo de fuente y sus parámetros. Se determina el tipo de explosivo ha utilizar, cantidad y profundidad, con la cual se busca llegar por debajo de la capa meteorizada más superficial, en zonas donde en cuyo caso la perforación del terreno es difícil y no se puede lograr la máxima profundidad, se realizan miniholes, pozos con menor profundidad y la cantidad de carga repartida.

La profundidad de la carga generalmente afecta tanto al contenido de frecuencias de los registros como a la relación señal/ruido³ generada por la fuente, lo cual se atenúa preferiblemente colocando la carga a una profundidad lo suficientemente grande como para reducir al máximo el ruido generado por la fuente.

2.3.9 Muestreo temporal y espacial. Es el intervalo de muestreo digital en tiempo y espacio con el cual se va a discretizar o digitalizar una señal sísmica análoga, que dependerá fundamentalmente de la frecuencia objetivo. Para el caso del muestreo temporal, puede variar entre 1 y 4 milisegundos dependiendo del equipo de registro. Mientras más pequeño el intervalo, mas posibilidades de muestrear frecuencias mas altas, claro esta, dentro del ancho de banda del objetivo a buscar. Este intervalo debe muestrear al menos 2 veces la frecuencia más alta que sé este buscando, conocida como la frecuencia de Nyquist (Véase Figura 13).

2.3.10 Filtros de corte bajo y alto. Son frecuencias de corte con las que se pretende eliminar ruidos de baja y de alta frecuencia. Por lo general se diseñan para eliminar ruidos inferiores a 12hz y superiores a 100hz. Los geófonos y todo tipo de instrumento tienen intrínseca su propia frecuencia natural de vibración, y es importante conocerla para evitar entrar en resonancia fenómeno que dejaría fuera de servicio el instrumento, vibrando indefinidamente sin existir ninguna perturbación.

³ Relación entre las amplitudes de las reflexiones y las amplitudes de los ruidos sobre una misma traza sísmica.

En la realidad, existen amortiguamientos que obligan al aparato a atenuar su vibración. (Véase Figura 14).

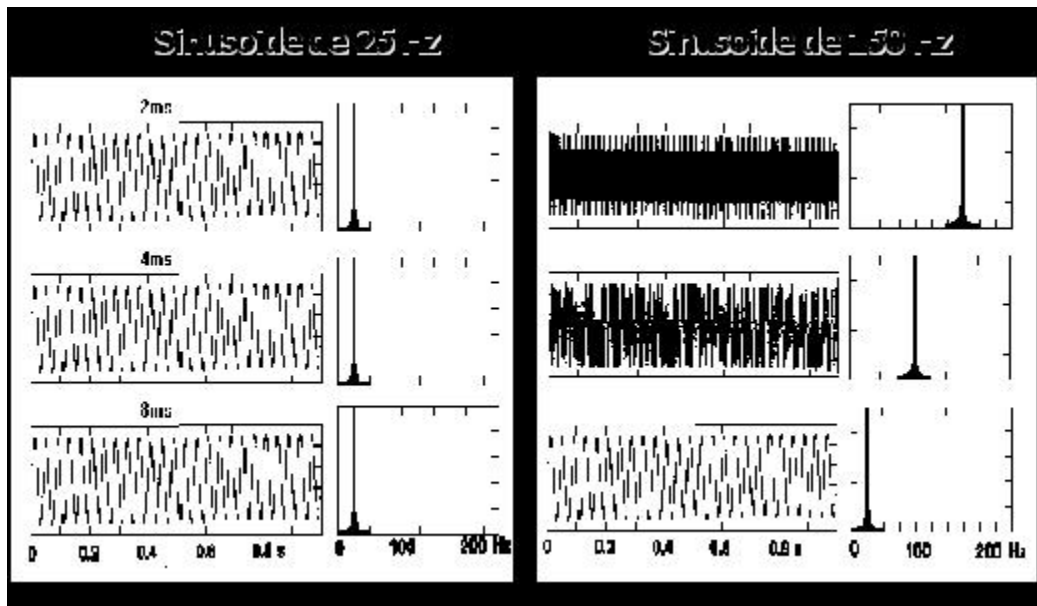


Figura 13. Muestreo temporal (Tomado de Gaps geophysics course, 1998)

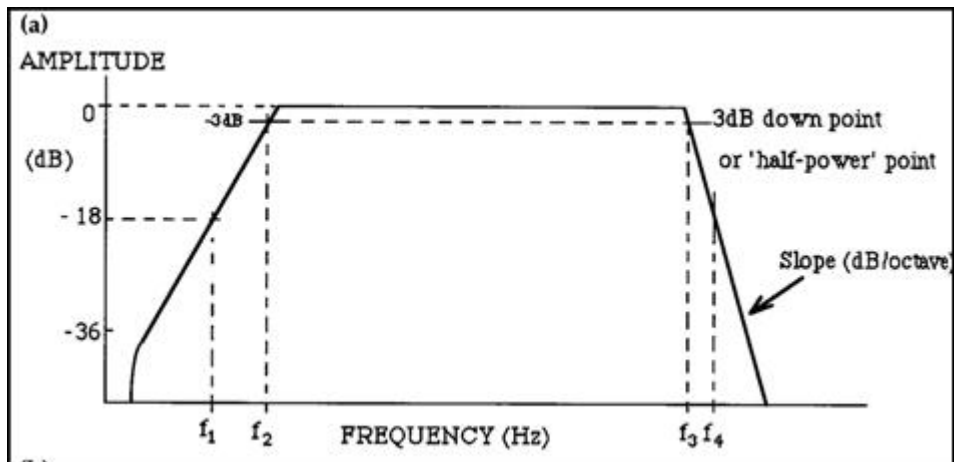


Figura 14. Filtros de corte bajo y corte alto (Tomado de Evans, B 1997)

2.3.11 Longitud de las líneas sísmicas. Como regla general, la línea debe extenderse a ambos lados de la porción de interés a una distancia de mínimo la profundidad del horizonte objetivo. Por ejemplo si la profundidad del horizonte objetivo es de 3 km. y el horizonte de interés es de 4 km., la línea debe tener una longitud de 10 km.

2.3.12 Orientación de las líneas. La orientación de las líneas las define la orientación de la dirección de buzamiento de la estructura de interés a mapear, ya que de esta manera se tiene un mayor control de los cambios de buzamiento con la profundidad. Las líneas paralelas al rumbo se trazan como complemento de las anteriores (Véase Figura 15a).

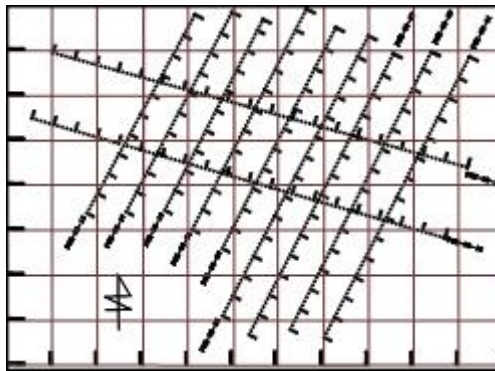


Figura 15a. Mapa de adquisición sísmica 2D (Tomado de Wye, R. 1999)

2.3.9 Espaciamiento entre líneas. El espaciamiento dependerá de la resolución o muestreo del objetivo de estudio. De esta forma se logra interpolar adecuadamente la información en profundidad entre dos líneas adyacentes (Véase Figura 15b).

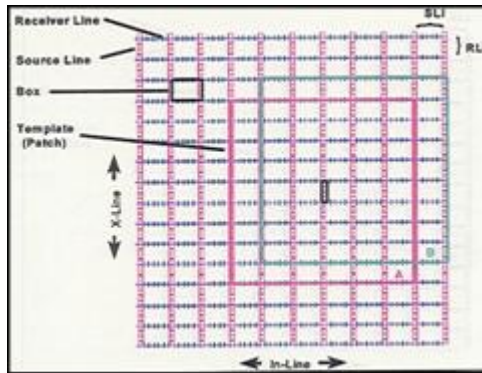


Figura 15b. Mapa de adquisición sísmica 3D (Tomado de Wye, R. 1999)

2.3.14 Apertura de migración. La apertura de migración es la distancia que puede ser adicionada a cada lado de un área de estudio en 2D ó 3D para asegurar la adecuada energía refractada y reflejada de los buzamientos de los reflectores, y capturar la mayor energía difractada posible.

La apertura de migración es necesaria para ubicar los horizontes buzantes y fallas dentro de su propio tendido de canales (Véase Figura 16).

Cuando se riega fuera de los límites del estudio, el área de fold total será incrementada por la apertura de migración. La cantidad de incremento varía de acuerdo con el rumbo y buzamiento en cada dirección. Los horizontes buzantes requieren una apertura de migración igual a la siguiente formula:

$$Ma = z \tan \upsilon$$

Donde:

Ma = apertura de migración

Z = profundidad

υ = ángulo de buzamiento (buzamiento geológico real)

La apertura de migración es normalmente elegida como la longitud de:

- El movimiento de la migración sísmica lateral de cada buzamiento de acuerdo a la geología esperada.
- La distancia requerida para capturar la energía de difracción a un ángulo de mas de 30 grados

2.3.15 Fold taper. El fold taper depende principalmente del área adicional en superficie necesaria para obtener el fold total. A menudo un valor pequeño del fold próximo a los bordes del prospecto puede ayudar a reducir el tamaño total del estudio significativamente.

La distancia del fold taper es aproximadamente 20% de la profundidad del objetivo (20% del offset máximo), asumiendo una capa geológica horizontal.

El fold taper puede fácilmente adicionar 30% al área total del 3D, incluso en estudios grandes. En estudios extremadamente pequeños este porcentaje es desproporcionadamente alto. Esto hace que en los estudios 3D en los cuales son propuestos para cubrir áreas tan pequeñas como 2.5 km. sean inaceptablemente costosos por el esfuerzo significativo en superficie. El tamaño del fold taper es a menudo diferente en la dirección de las líneas receptoras que en la dirección de las líneas de fuente debido a que el buzamiento puede cambiar dependiendo del azimut. Por lo tanto la apertura de migración cambiará. (Véase Figura 16).

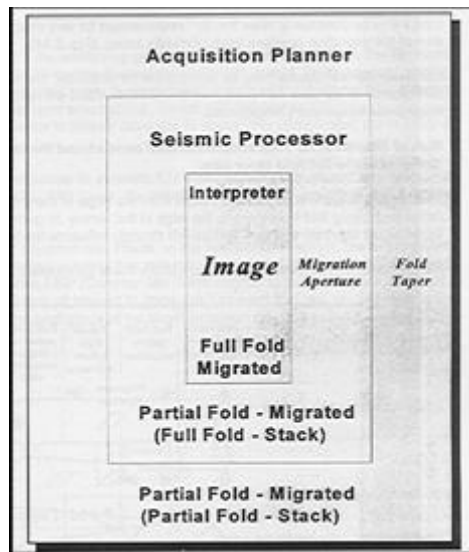


Figura 16. Apertura de migración y fold taper (Tomado de Galbraith, M. 1995)

2.3.16 Longitud de registro. La longitud de registro será seleccionada para que cualquier modelo de reflexión del evento más profundo de interés sea apropiadamente representado después de la migración. Normalmente, la longitud de registro es un 25% más profunda que el objetivo primario, calculada en el dominio del tiempo.

Con sistemas telemétricos, una longitud de registro grande puede aminorar el esfuerzo de la adquisición, debido a la necesidad para transmitir la información de cada estación secuencialmente después que el disparo ha sido efectuado.

2.4 CAPA METEORIZADA (WEATHERING)

El intemperismo hace referencia a las alteraciones que tienen lugar en los minerales y rocas en o cerca de la superficie de la tierra, por cambios de temperatura, presión, humedad y la incesante actividad de los seres vivos.

Los productos del intemperismo son por lo común acarreados por el agua y por la influencia de la gravedad y menos corrientemente por el viento y el hielo de glaciación.

Sin embargo algunas veces, los productos del intemperismo permanecen en el mismo sitio donde se formaron y se incorporan a las rocas del lugar formando la Capa Meteorizada

Existen dos tipos generales de intemperismo:

- Mecánico. También llamado desintegración, es un proceso por el que las rocas se rompen en fragmentos mas y más pequeños, como resultado de la energía desarrollada por las fuerzas físicas como:

---Expansión y Contracción. Debido a las ganancias y pérdidas de calor, por los cambios de temperatura.

---Acción de las Heladas. Debido a congelamiento del agua, en los poros y grietas de las rocas. Es más efectivo que el calor.

---Palpitación. (Frost heaving). Debido a que el agua se embebe en el suelo durante meses invernales, y luego se congela.

---Exfoliación. Debido a la pérdida de presión litostática, por causa de la erosión. Muchas rocas macizas se separan en lajas por las superficies de separación o juntas.

---Otro tipo. Es el de las raíces de las plantas, pero es más importante el mezclado mecánico producido por los animales.

- Químico. También llamado descomposición, en realidad transforma el material original en algo diferente. Por ej., el intemperismo químico de los feldspatos produce arcillas que tienen una composición y características físicas diferentes.

Algunos son los siguientes factores que afectan su velocidad:

---Tamaño de las Partículas. Cuanto más grande es la superficie de contacto entre las partículas, más vulnerables al ataque químico serán.

---La composición mineral

---El Clima. La humedad particularmente acompañada de calor acelera el intemperismo, inversamente la sequedad lo retarda

---La Topografía

La mayor parte del intemperismo tiene lugar dentro de los primeros decímetros o pocos metros, pero otros factores actúan más abajo de la superficie y permiten que el intemperismo penetre a grandes profundidades, por ej. Cuando la erosión quita grandes cantidades de material, la roca subyacente queda libre y se expande o el efecto de las aguas subterráneas. (Véase Figura 17).

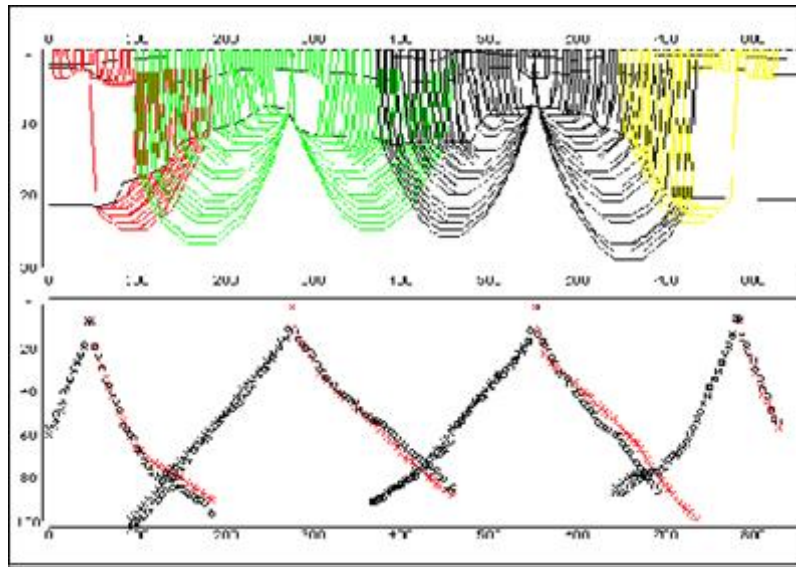


Figura 17. Modelo de capa meteorizada por refracción (Tomado de Refra Web Site)

2.5 NIVEL FREÁTICO (WATER TABLE)

Es una superficie de contacto irregular, entre las zonas de aireación y saturación, debajo de la cual se encuentra el agua subterránea; y por encima está el agua filtrada por escorrentía. El espesor de la zona de saturación difiere de un lugar a otro y el nivel freático fluctúa conformemente. En general el nivel freático tiende a seguir las irregularidades del terreno. Aún cuando el nivel freático refleje variaciones en la superficie del terreno, en realidad son menos pronunciadas sus irregularidades, ya que la presión atmosférica y subsuperficial es relativamente uniforme. (Véase Figura 18).

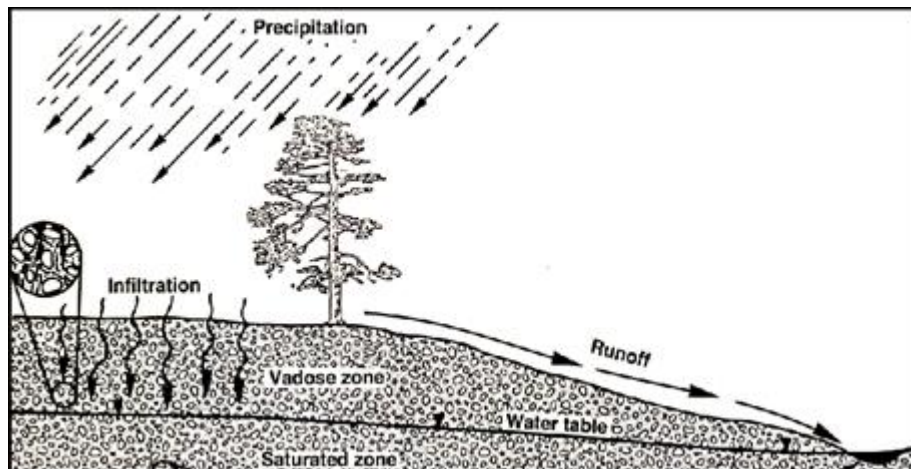


Figura 18. Nivel Freático (Tomado de Nesen Web Site)

3. UPHOLE Y CÁLCULO DE ESTÁTICAS

A continuación se presenta un marco teórico específico de los conceptos involucrados en el presente desarrollo como son la detonación y el cálculo de estáticas a partir de levantamientos de uphole y la aplicación de estáticas en general en la sismica de reflexión.

3.1 DETONACIÓN DETALLADA DE UN POZO PROFUNDO (“UPHOLE SURVEY” O DROMOCRONA VERTICAL)

La detonación detallada de un pozo profundo con pequeños intervalos de profundidad entre explosiones, se hace frecuentemente a intervalos regulares en las líneas sísmicas para obtener un cuadro cercano de la geología de las formaciones cercanas a la superficie. De este estudio se deriva una sección transversal de las formaciones superficiales con sus espesores y velocidades respectivas. Esta información será usada para el cálculo de correcciones estáticas de la línea.

Cuando se detona un pozo profundo es provechoso usar una corta línea de geófonos individuales a distancias incrementadas simétricamente respecto a la boca del pozo profundo (Véase Figura 19). El geófono más cercano se coloca normalmente a una distancia de 3 metros para evitar que el rayo sísmico atraviese la zona alterada que circunda al pozo, y que es provocada por la penetración del lodo de perforación. A esta zona se le denomina comúnmente árbol de Navidad.

La distancia a que se deben colocar los otros geófonos depende de los espesores y velocidades de las formaciones superficiales.

Si se analiza los primeros arribos de un geófono situado a una distancia grande, se tendrá una situación similar a la ilustrada en la (Figura 20).

Cuando se gráfica los tiempos de primer arribo en un gráfico $t - P_c$, (Véase Figura 21.), se observa que los arribos críticamente refractados originados por cargas dentro del weathering se alinean según una pendiente inversa a la de los arribos refractados originados por cargas por debajo del weathering. Los arribos críticamente refractados pueden aparecer como primeros o segundos impulsos dependiendo de la distancia X y de la profundidad de carga P_c .

Se estudiara primero las refracciones críticas para profundidades de carga P_c menores que el espesor de weathering (ver Figura 22). De la figura 22 se desprende que el tiempo T_x del rayo críticamente refractado a una distancia X y con la fuente a una profundidad P_c es dado por:

$$T_x = \frac{W - P_c}{V_w \cos i_c} + \frac{W}{V_w \cos i_c} + \frac{X - [(W - P_c) \cdot \tan i_c + W \tan i_c]}{V_{sw}}$$

$$T_x = \frac{X}{V_{sw}} + \frac{W - P_c}{V_w \cos i_c} - \frac{[(W - P_c) \cdot \tan i_c]}{V_{sw}} + \frac{W}{V_w \cos i_c} - \frac{W \tan i_c}{V_{sw}}$$

$$V_{sw} = \frac{V_w}{\sin i_c}$$

$$T_x = \frac{X}{V_{sw}} + \frac{W - P_c}{V_w \cos i_c} - \frac{(W - P_c)}{V_w \cos i_c} \cdot \sin^2 i_c + \frac{W}{V_w \cos i_c} - \frac{W \sin^2 i_c}{V_w \cos i_c}$$

$$T_x = \frac{X}{V_{sw}} + \frac{W - P_c}{V_w \cos i_c} \cdot (-\sin^2 i_c) + \frac{W}{V_w \cos i_c} \cdot (-\sin^2 i_c)$$

$$T_x = \frac{X}{V_{sw}} + \frac{(2W - P_c)}{V_w \cos i_c} \quad (1)$$

Para $P_c = W$

$$T_x = \frac{X}{V_{sw}} + \frac{W}{V_w} \cos i_c \quad (1a)$$

Para $P_c = 0$

$$T_x = \frac{X}{V_{sw}} + \frac{2W}{V_w} \cos i_c \quad (1b)$$

Las ecuaciones (1a) y (1b) ya fueron derivadas anteriormente.

Reordenando la ecuación (1) tendremos:

$$T_x = -\left(\frac{\cos i_c}{V_w}\right)P_c + \frac{X}{V_{sw}} + \frac{2W}{V_w} \cos i_c \quad (2)$$

Para un modelo dado de velocidades V_w , V_{sw} , y para un geófono situado a una distancia fija X , los tiempos de los arribos críticamente refractados son una función decreciente de la profundidad de carga P_c . La ecuación (2) en un gráfico T_x función de P_c representa una recta de ordenada al origen:

$$\left(\frac{X}{V_{sw}} + \frac{2W}{V_w} \cos i_c \right)$$

y de pendiente:

$$-\frac{\cos i_c}{V_w}$$

La velocidad aparente V_a de esa recta, o la inversa de la pendiente será:

$$V_a = \frac{V_w}{\cos i_c} = \frac{V_w}{\sqrt{V_{sw}^2 - V_w^2} / V_{sw}}$$

$$V_a^2 = \frac{V_w^2 \cdot V_{sw}^2}{(V_{sw}^2 - V_w^2)}$$

$$V_a^2 \cdot V_{sw}^2 - V_a^2 \cdot V_w^2 = V_w^2 \cdot V_{sw}^2$$

$$V_w^2 (V_{sw}^2 + V_a^2) = V_a^2 \cdot V_{sw}^2$$

$$V_w^2 \left(1 + \frac{V_{sw}^2}{V_a^2} \right) = V_{sw}^2$$

$$V_w = \frac{V_{sw}}{\sqrt{1 + \left(\frac{V_{sw}}{V_a} \right)^2}}$$

De la figura 21 se obtiene:

$$V_a = \frac{W}{\Delta T_w}$$

Reemplazando:

$$V_w = \frac{V_{sw}}{\sqrt{1 + V_{sw}^2 \left(\frac{\Delta T_w}{W} \right)^2}} \quad (3)$$

La fórmula (3) permite calcular la velocidad del weathering V_w , en función de la velocidad de subweathering V_{sw} , del espesor de weathering W y de la velocidad aparente de los arribos críticamente refractados originados en cargas explotadas dentro del weathering. Para la aplicación de ésta fórmula el geófono debe estar colocado a una distancia X mayor que la distancia mínima X_0 que puede ser expresada como: (Véase Figura 23).

$$\begin{aligned} X_0 &= (W - P_c) \cdot \tan i_c + W \tan i_c \\ X_0 &= (2W - P_c) \cdot \tan i_c \end{aligned} \quad (4)$$

Para una dada profundidad P_c , para distancias $X < X_0$ no hay rayo críticamente refractado sino sólo rayo directo.

De la fórmula (4) vemos que para un modelo determinado de espesor de weathering W y velocidades V_w , V_{sw} , la distancia X_0 es una función decreciente con el aumento de la profundidad de carga, o sea:

$$X_0 = -P_c \tan i_c + 2W \cdot \tan i_c \quad (4_a)$$

Para distancias $X < X_0$, para una dada profundidad de carga P_c , será captado el rayo directo como único evento.

Analicemos ahora la dupla rayo directo, rayo refractado críticamente para cargas dentro del weathering ($P_c < W$) para establecer los límites en que el rayo refractado aparece como primer impulso. El tiempo del rayo directo, T_d es definido por:

$$T_d = \frac{\sqrt{P_c^2 + X^2}}{V_w} = \sqrt{\frac{P_c^2}{V_w^2} + \left(\frac{X}{V_w}\right)^2}$$

El tiempo del rayo críticamente refractado es definido por la fórmula (1):

$$T_x = \frac{X}{V_{sw}} + \frac{2W}{V_w} \cdot \cos i_c - P_c \cdot \frac{\cos i_c}{V_w}$$

Para valores fijos de X, y para un modelo geológico determinado, podemos hacer:

$$\frac{X}{V_{sw}} + \frac{2W}{V_w} \cdot \cos i_c = K$$

$$\frac{\cos i_c}{V_w} = \rho$$

$$\frac{1}{V_w^2} = m$$

$$\left(\frac{X}{V_w} \right)^2 = n$$

Reemplazando en las fórmulas anteriores:

$$T_d = \sqrt{mP_c^2 + n}$$

$$T_x = K - \rho P_c$$

Para la profundidad crítica P_{cc} , $T_x = T_d$

$$\sqrt{mP_{cc}^2 + n} = K - \rho P_{cc}$$

Elevando al cuadrado ambos miembros:

$$\begin{aligned}
mP_{CC}^2 + n &= K^2 + \rho^2 P_{CC}^2 - 2K\rho P_{CC} \\
P_{CC}^2(m - \rho^2) + 2K\rho P_{CC} + (n - K^2) &= 0 \\
P_{CC} &= \frac{-2K\rho + \sqrt{(2K\rho)^2 - 4(m - \rho^2) \cdot (n - K^2)}}{2(m - \rho^2)} \quad (5)
\end{aligned}$$

Para una distancia X dada, la profundidad de carga para la que el rayo críticamente refractado arriba simultáneamente con el rayo directo es definido por la ecuación (5).

Se sobreentiende que para ese valor Pcc la distancia X es $X > X_0$.

Para profundidades de carga $P_c > P_{cc}$ el rayo críticamente refractado es el primer arribo. Para $P_c < P_{cc}$ el rayo directo es el primer arribo.

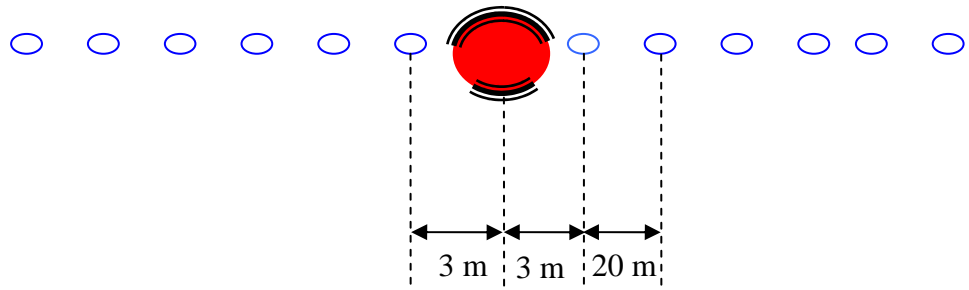


Figura 19. Distribución simétrica de geófonos (Tomado de Mera, R. 1985.)

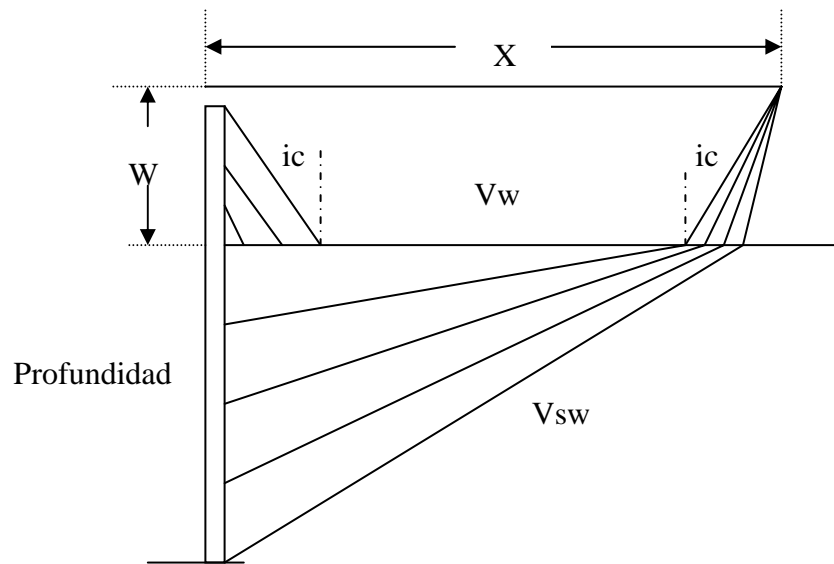


Figura 20. Primeros arribos de un geófono situado a una distancia grande (Tomado de Mera, R. 1985.)

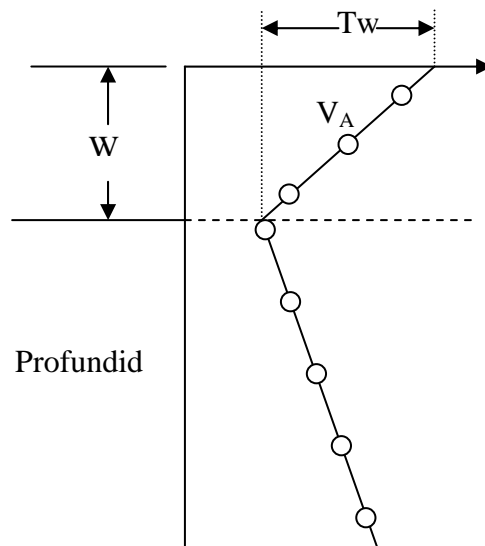


Figura 21. Primeros arribos t-Pc (Tomado de Mera, R. 1985)

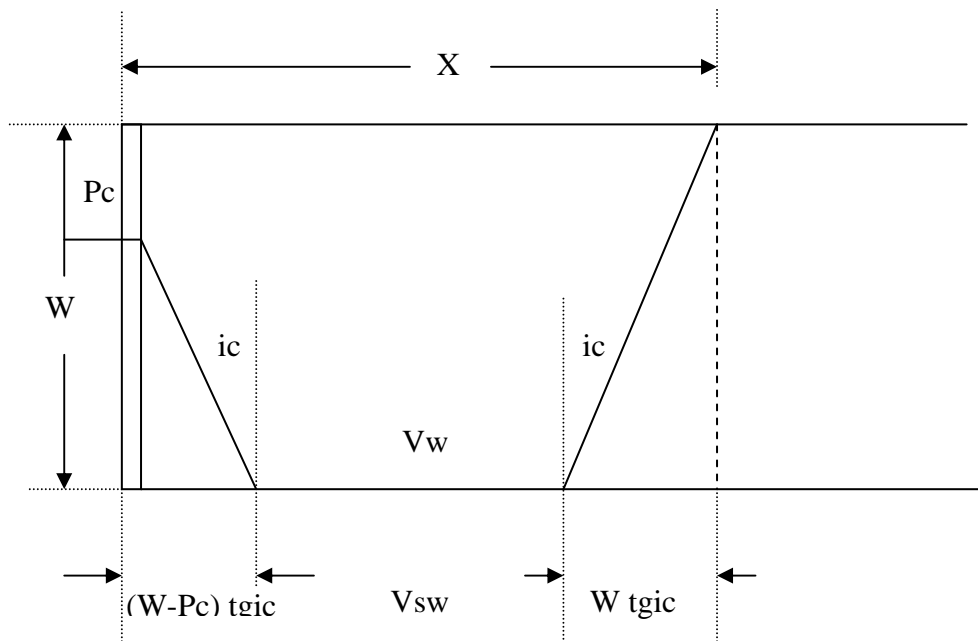


Figura 22. Refracciones críticas para P_c menores que el espesor de weathering. (Tomado de Mera, R. 1985.)

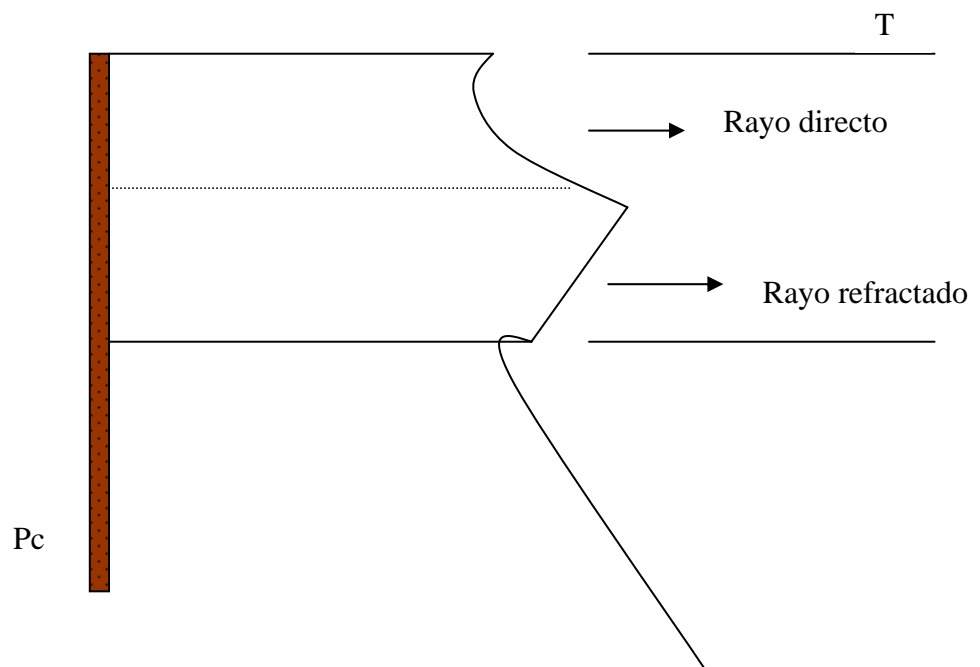
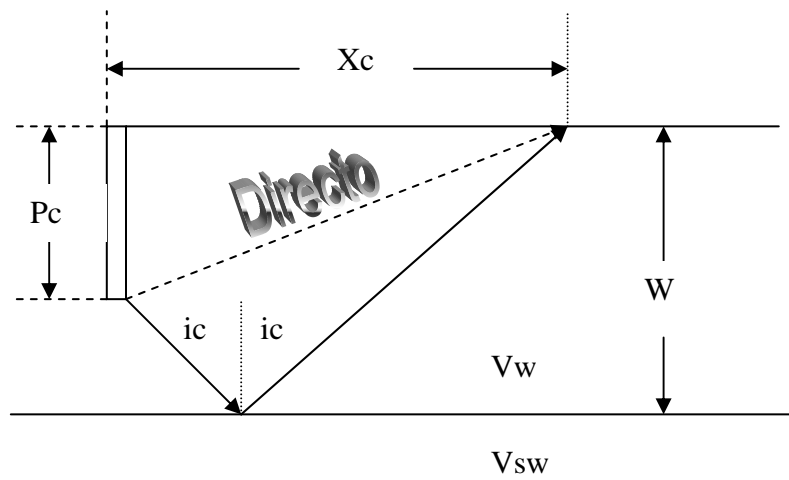


Figura 23. Distancia X_0 mínima para el rayo directo. (Tomado de Mera, R. 1985.)

3.2 ESTÁTICAS

La aplicación de correcciones estáticas antes del apilado tiene por objeto:

1. Eliminar los efectos distorsionantes que sobre los tiempos de reflexión tienen los cambios de la elevación de la superficie del terreno, las variaciones del espesor y velocidad de la capa meteorizada (weathering) y las ocasionales variaciones en la estructura de velocidad de las formaciones consolidadas o intermedias próximas a la superficie.

2. Referir finalmente los tiempos de reflexión a un plano de referencia que puede ser fijo (horizontal) o variable (flotante).

La calidad de la sección sísmica procesada está íntimamente relacionada con la calidad de las correcciones estáticas de campo. Como en el cálculo de correcciones estáticas intervienen, entre otros parámetros, las elevaciones de la superficie en cada estaca o posición de recepción; la exactitud de las correcciones es directamente dependiente del grado de precisión alcanzado en el levantamiento topográfico, especialmente en las lecturas de elevación de cada estación.

En los grupos de campo operando con pozos profundos penetrando en la capa consolidada, las correcciones estáticas son calculadas usando el tiempo de pozo obtenido en cada explosión. El tiempo de pozo que finalmente es grabado en un canal auxiliar en la cinta magnética es sometido a procesos tales como modulación y demodulación (en el caso de ser transmitido por radio), filtrado anti-alias, muestreo, conversión analógica digital y finalmente grabación. Los procesos de modulación, demodulación y filtrado introducen sobre la señal del geófono de pozo, un retardo que en algunos casos puede ser del orden de los 10 milisegundos. De ahí la necesidad de disponer de una alimentación directa del geófono de pozo a cámara vía cable (ver Manual de Control de Calidad, Capítulo IV). Con el mismo criterio es importante disponer de una corrección directa a cámara de la señal analógica de "time-break". La profundidad de carga, que es un parámetro de campo, debe ser reportada con exactitud. El sismólogo debe estar alerta ante situaciones de cargas que por taponamiento del pozo, suben, dando tiempos de pozo, aparentemente anómalos.

En los grupos de campo operando con arreglos de pozos superficiales o con fuentes superficiales como vibroseis, para la obtención de las correcciones estáticas se recurre a perforar pozos profundos y detonarlos del fondo hacia arriba en pequeños intervalos (uphole survey o dromocronas verticales), o introducir un cable con hidrófonos equidistantes (dromocable) detonando desde la superficie, o detonar cortos perfiles de refracción programados para obtener la penetración necesaria. Los pozos profundos o los perfiles de refracción son detonados a intervalos que dependen de la variación de las capas superficiales, y normalmente es fijado por el cliente, (ver figura 25).

La corrección convencional de elevación utiliza la técnica del datum para la corrección de anomalías cercanas a la superficie.

En gran parte de las situaciones la corrección convencional de este datum es simplemente la distancia medida desde la superficie al datum especificado, dividida por una velocidad de corrección (usualmente una velocidad media calculada a partir de los primeros arribos). En este caso se asume una velocidad de weathering constante y un datum plano o ligeramente inclinado.

Si estas suposiciones son incorrectas el resultado de la sección apilada exhibirá estructuras falsas o una pobre resolución de los horizontes. Cuando se dispone de levantamientos de uphole o informaciones con dinamita se puede obtener un modelo del weathering mejor elaborado. Sin embargo las suposiciones sobre la profundidad del weathering deben hacerse y la cantidad de información depende de la frecuencia de los upholes. Los tiempos de uphole prestan su asistencia en la determinación de las velocidades cercanas a la superficie, pero dichos tiempos no entregan información acerca de las anomalías en la velocidad de la estructura si estos no son realizados a una profundidad igual a la de la capa intemperizada⁴ o si la línea contiene omisiones largas de cubrimiento de disparo.

Las correcciones estáticas incorrectas presentan tres efectos en el apilado de la sección sísmica. Estos efectos se diferencian en problemas o correcciones de periodo corto, medio y largo.

⁴ capa de baja velocidad. Es la zona cercana a superficie en la que por lo general las velocidades sísmicas son bajas

Las correcciones de periodo corto se manifiestan en un número reducido de estaciones y pueden adquirir valores sustancialmente altos, hasta del orden de 100 ms. El efecto es que deterioran la calidad de la sección apilada, por ejemplo en donde los horizontes coherentes caen en una baja resolución o en áreas de ruido incoherente. Este efecto excede la mitad de un tendido de longitud de un cdp gather⁵.

Las correcciones estáticas de periodo largo afectan a un número grande de estaciones normalmente comparable a la del tendido de receptores. Su efecto es crear falsas estructuras de tiempo. La magnitud de estas es del orden de 50 a 200 ms. en la extensión del tendido, es decir que muestran la estructura más profunda o más somera de lo que realmente son a lo largo de toda la línea.

Las correcciones de periodo medio se manifiestan cuando las anomalías cubren más allá de la longitud de un tendido de cdp gather.

Este efecto se observa usualmente en secciones apiladas como un rizado de los horizontes donde se sospecha que son planos. En áreas donde el weathering es grueso un reflector puede aparecer muy profundo o por el contrario si es delgado la anomalía puede aparecer muy somera.

Errores de estática del tipo medio y largo se observan fácilmente en secciones con *misties*⁶ en donde cruzan o en donde las capas profundas no correlacionan con las capas observadas en los pozos.

3.2.1 Formulas de cálculo

3.2.1.1 Corrección estática para pozo profundo por debajo de la base del weathering. (Véase figura 24).

⁵Agrupamiento de puntos comunes profundos

⁶No correspondencia de un evento entre dos líneas que se cruzan

$$T_s = \frac{Ed + Pc - Es}{V_c}$$

$$T_g = T_s - tp$$

Donde tp se obtiene directamente del registro

3.2.1.2 Corrección estática para pozo superficial dentro de la capa de Weathering. (Véase Figura. 26).

$$T_s = \frac{Ed - Es}{V_c} - tw \left[\frac{V_c - V_w}{V_c} \right] + tp$$

$$T_g = T_s - tp$$

3.2.1.3 Corrección estática para fuente sobre la superficie. (Véase Figura. 28).

$$T_s = \frac{Ed - Es}{V_c} - \frac{w}{V_w} \left[\frac{V_c - V_w}{V_c} \right]$$

$$T_s = \frac{Ed - Es}{V_c} - tw \left[\frac{V_c - V_w}{V_c} \right]$$

$$T_g = T_s$$

3.2.1.4 Calculo del espesor de weathering basado en la medición del tiempo de pozo con la carga dentro de la capa consolidada.

$$W = (tpV_{sw} - Pc) \frac{V_w}{V_{sw} - V_w}$$

3.2.1.5 Calculo de la velocidad de weathering utilizando el tiempo de pozo y el de los primeros arribos.

$$V_w = V_{sw} \frac{(1 - a^2)}{(1 + a^2)}$$
$$a = \frac{(tpV_{sw} - Pc)}{(TxV_{sw} - X)}$$

3.2.1.6 Calculo del espesor de weathering basado en la medición del tiempo de pozo con la carga dentro de la capa consolidada.

$$W = (tpV_{sw} - Pc) \frac{V_w}{V_{sw} - V_w}$$

Diseño De Uphole Para 45 Mts De Profundidad

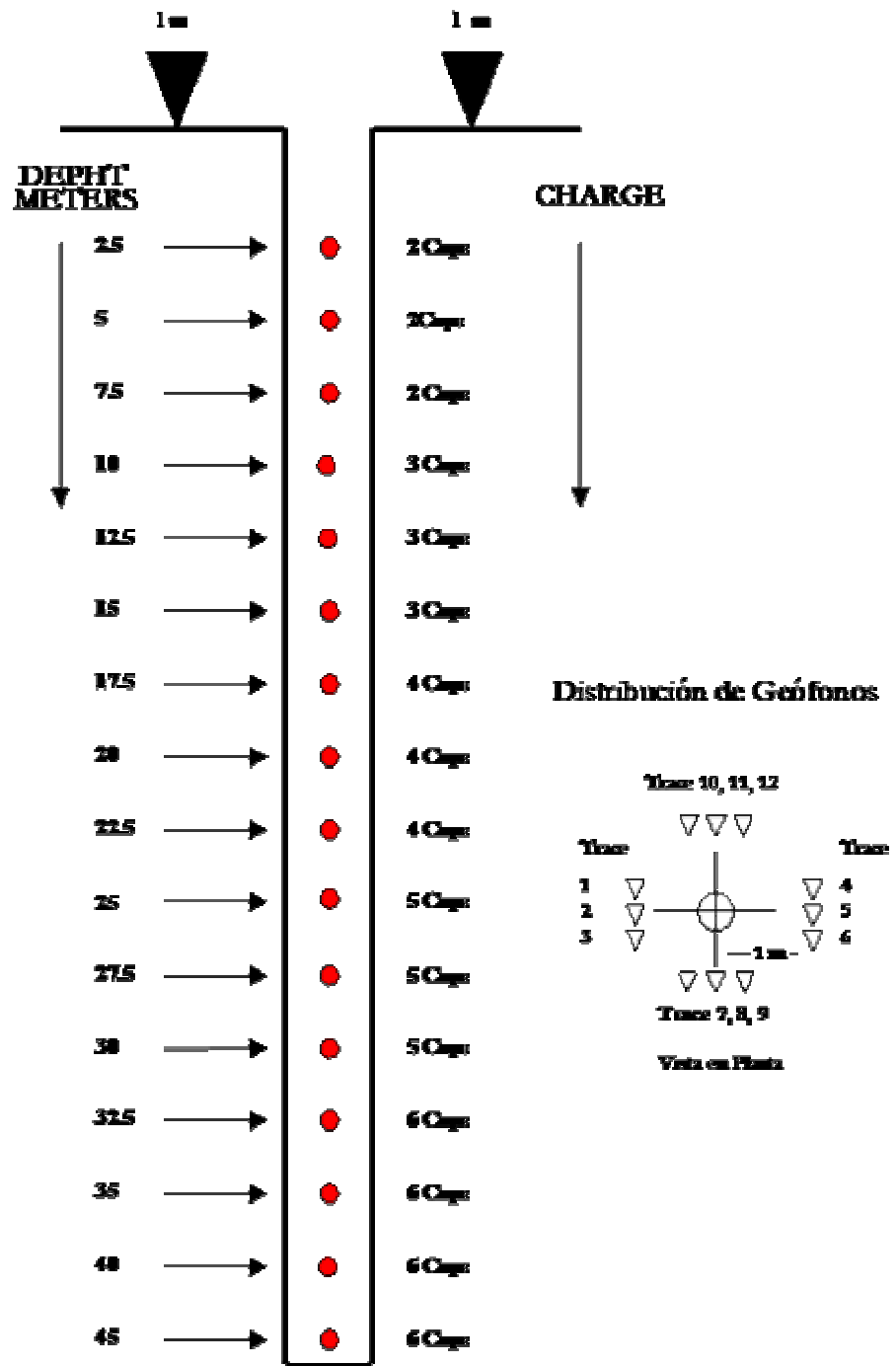


Figura 24. Arreglo de fuente receptor para pozos profundos (Tomado del Reporte de Levantamiento de Uphole Proyecto Pihuicho 2D. 1998.)

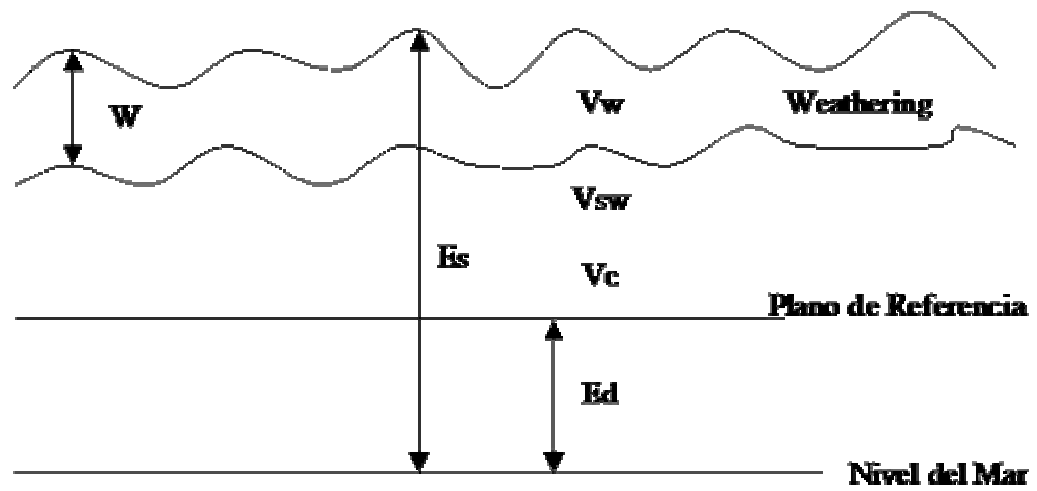


Figura 25. Correcciones Estáticas para fuentes Superficiales o poco Profundas. (Tomado de Sheriff, R. & Geldart, L. 1991)

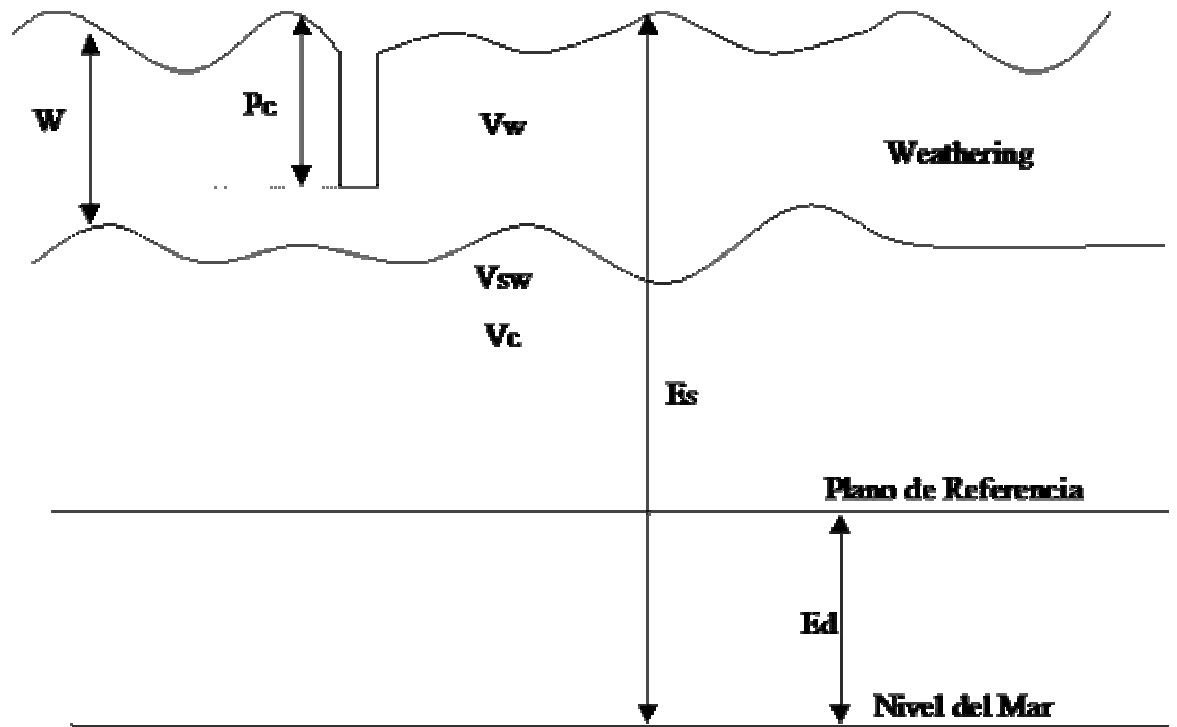


Figura 26. Correcciones Estáticas para cargas dentro de la Capa de Weathering. (Tomado de Sheriff, R. & Geldart, L. 1991).

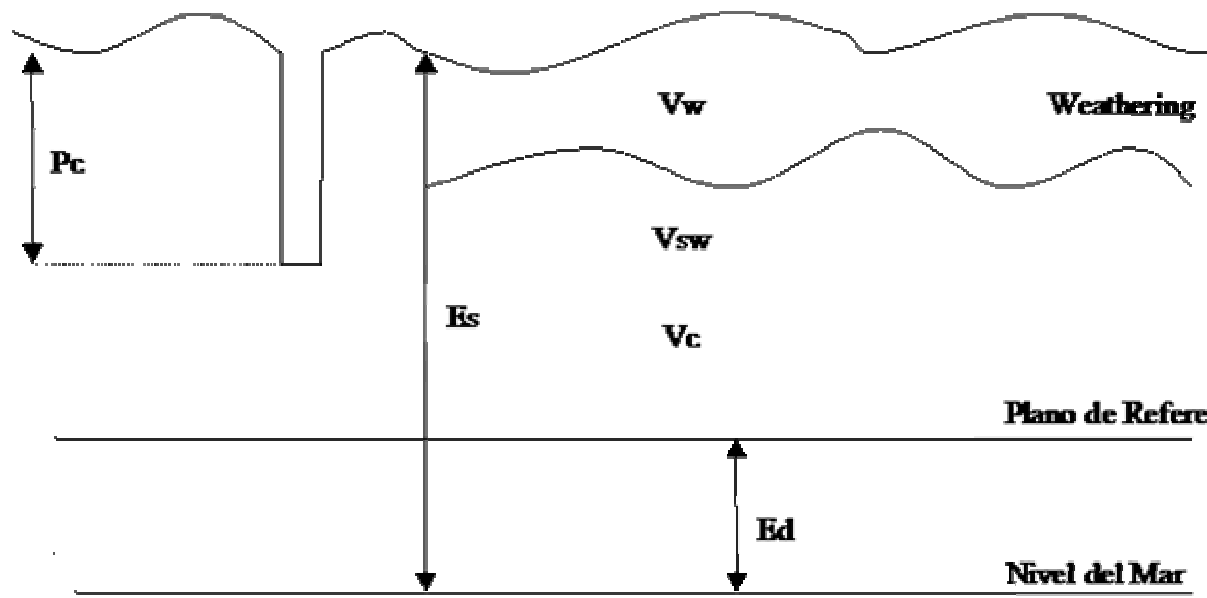


Figura. 27. Correcciones Estáticas para carga por debajo de la Capa de Weathering. (Tomado de Sheriff, R. & Geldart, L. 1991.)

3.3 ESTÁTICAS EN PROMAX

ProMax es un software que trabaja sobre una plataforma de Unix, pero bajo un ambiente de interacción de Windows lo cual lo hace muy interactivo y versátil al procesar la información sísmica. Permite referenciar los datos a un plano de referencia que puede ser plano o flotante. El plano flotante se usa para abolir distorsiones a la forma hiperbólica que presentan los eventos de reflexión en casos donde la hipérbola varía considerablemente.

Si se procesa con datum flotante los datos son llevados al datum final en el proceso de apilado.

3.3.1 Procesos para el cálculo de estáticas

- Aplicar estáticas por elevación
- Aplicar estáticas por refracción
- Aplicar estáticas de usuario

3.3.1.1 Aplicación de estáticas por elevación

- Establecer los planos o Datum y los atributos relativos a la estática "DATABASE ATTRIBUTES"
- Actualizar el etiquetado de las trazas "TRACE HEADER ENTRIES"
- Mover las trazas al Datum escogido, flotante o plano "APPLICATION OF TOT_STAT AND NA_STAT"

3.3.1.2 Aplicación de estáticas por refracción. Debe usarse si previamente se calcularon estáticas de fuente y recepción al Datum Final con el modulo de Refraction Statics. En este caso las estáticas fuente receptor se encuentran en la geometría SIN y SRF. Apply statics establece que los datum estén en la base de datos y calcula las estáticas basado en la solución de estáticas seleccionadas

3.3.1.3 Aplicación de estáticas de usuario. Se importan las estáticas en la base de datos las cuales se particionan en la estática que mueve los datos al plano de referencia y la estática que mueve al datum final.

Las tres herramientas de estática utilizan un script llamado database math los cuales se encuentran en /PROMAX_HOME/advance/port/misc/elev_stat_math

Por cada método de aplicación de estáticas existe un stat_math correspondiente.

Por elevación:

Elev_stat_math Cálculo de estáticas usando upholes y profundidad de pozo.

Noup_stat_math Permite el uso de una velocidad de weathering variable cuando existe desconfianza en los tiempos verticales de pozo.

Surf_stat_math Considera los puntos de disparo sobre la superficie del terreno.

Por refracción:

Ref_stat_math Actualiza los atributos de la base de datos usando la solución de estáticas seleccionada en el menú dispuesto para ello.

Por Usuario

User_stat_math Las estáticas de usuario deben ser importadas mediante el atributo USERSTAT

Los atributos usados en stat_math son los siguientes:

N_DATUM	Datum o plano de referencia flotante
F_DATUM	Datum final de procesamiento
DATUMVEL	Velocidad de corrección
WWEATH	Velocidad del weathering
S_STATIC	Estáticas de Fuente
R_STATIC	Estáticas de Receptor
C_STATIC	Estática de tiempo doble para convertir los datos desde el plano de referencia al plano o Datum Final.

Formulas de Calculo para la Corrección de Estáticas

$$S_static = \frac{F_datum - Elev + Depth}{Datumvel}$$

$$R_static = \frac{F_datum - Elev + Depth}{Datumvel} + Tuh$$

4 METODOLOGIA

Este trabajo se realizo en varias etapas

4.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRAFICA.

- Definición de los objetivos generales y específicos de la practica empresarial
- Recopilación de la información tanto de el marco teórico general como del específico, inducción de manejo de los software (uphole de oyo, Surfer for Windows y promax) en la sede de GAPS LTD (Santafé de Bogotá), cuyo manejo se describe más adelante en el siguiente capitulo

4.1.1 Contorneo y ploteo de mapas en surfer. Como parte de la metodología seguida en oficina en el entrenamiento y manejo de los software y que luego sería aplicada en campo se generaron mapas de contorno en surfer a partir de datos de uphole de campo correspondientes al proyecto Pihuicho 2D en el bloque 8X perteneciente a la compañía PlusPetrol Perú. El proyecto de 145.3 km. distribuidos en 11 líneas sísmicas se encuentra ubicado en el área de la población de Trompeteros a orillas del Río Corrientes en el Departamento de Loreto. El levantamiento de Upholes consto de 16 puntos distribuidos: 13 en las intersecciones de las líneas y 3 hacia la parte norte de las líneas con rumbo noreste sobre el área de adquisición (Véase Figura 28)

Surfer es un programa gráfico de contorneo y ploteo de superficies tridimensionales por medio de cuadrículas (arreglos regulares de datos), que corre bajo Microsoft Windows, Windows 95 y Windows NT. Interpola datos XYZ irregularmente espaciados para colocarlos regularmente

espaciados en una cuadrícula. Los archivos de cuadrícula son utilizados para producir mapas de contornos y ploteo de superficies. Adicionalmente permite mediante operaciones de cuadrículado producir el tipo de contorno que mejor represente los datos, hacer cálculos entre archivos de cuadrícula, obtener el volumen por debajo de una superficie o entre dos superficies (ej.: elevación y base de la capa de weathering), volúmenes entre planos de superficie, perfiles transversales y las diferencias entre una cuadrícula de datos interpolados con la cuadrícula de datos original (residuales).

4.1.2 Métodos de cuadrículado

Distancia Inversa. Este es un método rápido que tiene la tendencia de generar contornos concéntricos alrededor de los puntos de datos, normalmente indeseables

Kriging. Es el método mas flexible y ventajoso para cualquier conjunto de datos. Es efectivo en casi todos los arreglos de datos en los que se aplique una interpolación lineal. Sin embargo, el proceso es lento con un conjunto extenso de datos.

Curvatura Mínima. Genera superficies suavizadas y actúa rápidamente con casi todo tipo de datos.

Puntos contiguos. Es ventajoso para convertir datos XYZ de espaciamientos regulares en una cuadrícula. Si las observaciones caen sobre una cuadrícula completa con algunos espacios en blanco, el método los interpola según el requerimiento con valores nulos completando de esta manera los datos del área.

Proceso de regresión polinomial. Procesa la información de forma que muestre la tendencia y patrón de los datos fundamentalmente en gran escala. Se utiliza para el análisis de tendencias de

superficie. Es un método rápido para cualquier conjunto de datos pero pierde detalle local en la cuadrícula generada.

Funciones radiales. Es comparable al método Kriging en el sentido de que realiza la mejor interpretación de los datos. Produce resultados similares a Kriging.

Shepards method. Similar al método por distancias inversas sin la tendencia a generar contornos concéntricos alrededor de los puntos de datos especialmente cuando se usa un factor de suavizado.

Triangulación con interpolación lineal. Cuando se usan pocos datos, la triangulación genera distintas caras triangulares alrededor de los puntos. Una ventaja de la triangulación es que con suficiente información se preservan líneas de rompimiento definidas en los datos. Por ejemplo si una falla es delimitada por suficientes puntos a ambos lados de la línea de la falla, la discontinuidad aparece por la triangulación de los datos.

Se generaron finalmente mapas de contorno con el método de kriging que fue el que mejor interpoló los datos de espesor de weathering (Véase Figura 29), velocidad de weathering (Véase Figura 30), velocidad de subweathering (Véase Figura 31),

4.2 DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DE CAMPO

- Se utilizaron los datos de registro en campo del levantamiento de pozo profundo del proyecto Lote 68 2D y se analizaron con el software UpHole para obtener Z_0 , V_0 y V_1 ; luego se creó una tabla de cálculo en Excel para generar las estáticas y llevarlas a Promax; un mapa de

contorneo en Surfer for Windows, con el fin de utilizar esta información en la solución de estáticas para el apilado de la línea.

EL desarrollo del trabajo se llevo a cabo en las siguientes partes (duración 60 días).

- Adquisición y registro de UpHole en la línea.
- Interpretación y análisis de los archivos .Dat en el software UpHole
- Adecuación de los datos tipo texto a formato Excel
- Toma y adecuación de datos de entrada al sistema de procesamiento Promax
- Contorneo y ploteo de mapas en Surfer for Windows
- Procesamiento y ploteo de datos sísmicos de reflexión con el uso de diferentes métodos de solución de estáticas.

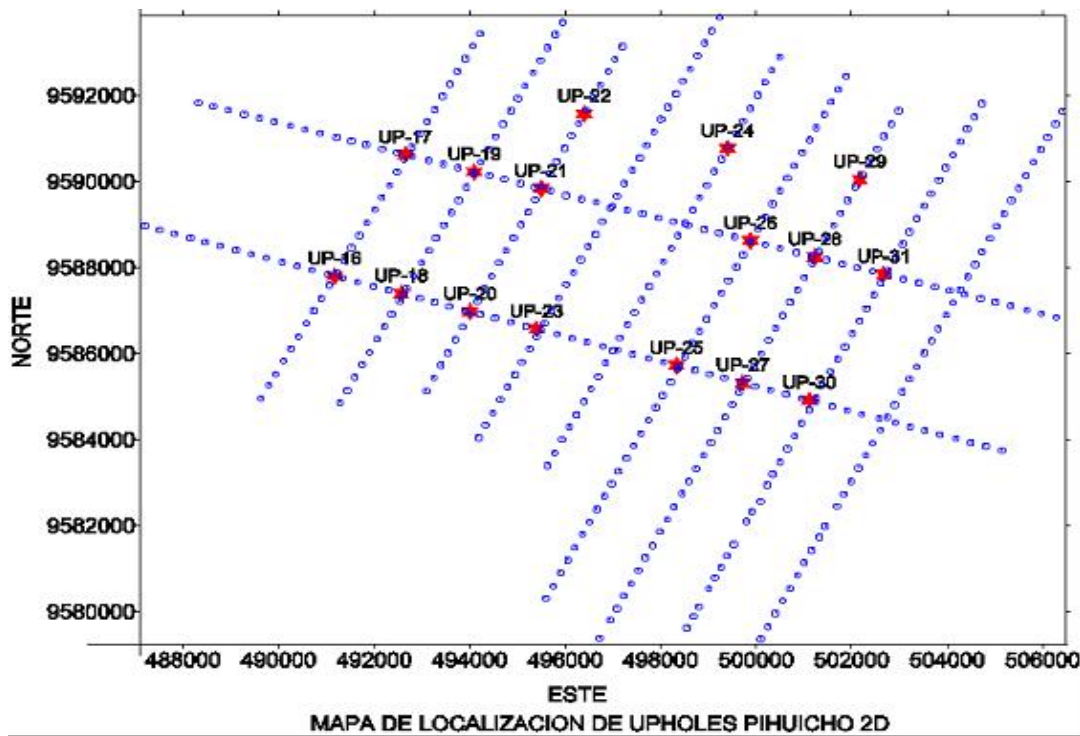


Figura 28 Mapa de líneas con ubicación de upholes Pihuicho 2D (Tomado del Reporte final de operaciones Pihuicho 2D. 1988.)

Como se desprende de la figura 29 (resultado de los contornos del espesor de la capa meteorizada), en general para el área los mayores espesores se encuentran hacia la parte norte, centro y noreste y para el resto del área los espesores son menores. Para la línea P8X-98-16 en particular los mayores espesores se encuentran hacia el centro y los espesores menores hacia los extremos.

Para el caso de la figura 30 (resultados de contornos de la velocidad de la capa meteorizada) se observa una correspondencia entre la distribución de los valores de velocidad y espesor: a mayor espesor, velocidad mayor y a menor espesor velocidad menor. Las velocidades de la capa meteorizada varían entre 400 y 1150 ms y los espesores entre 2.5 m y 4 m

En la figura 31 (resultado de contornos de la velocidad de la capa submeteorizada) se observa todo lo contrario en comparación con el contorno de la figura 30, ya que las velocidades mas bajas se encuentran hacia la parte centro y norte del y en particular para la línea las velocidades mas bajas se encuentran hacia el centro.

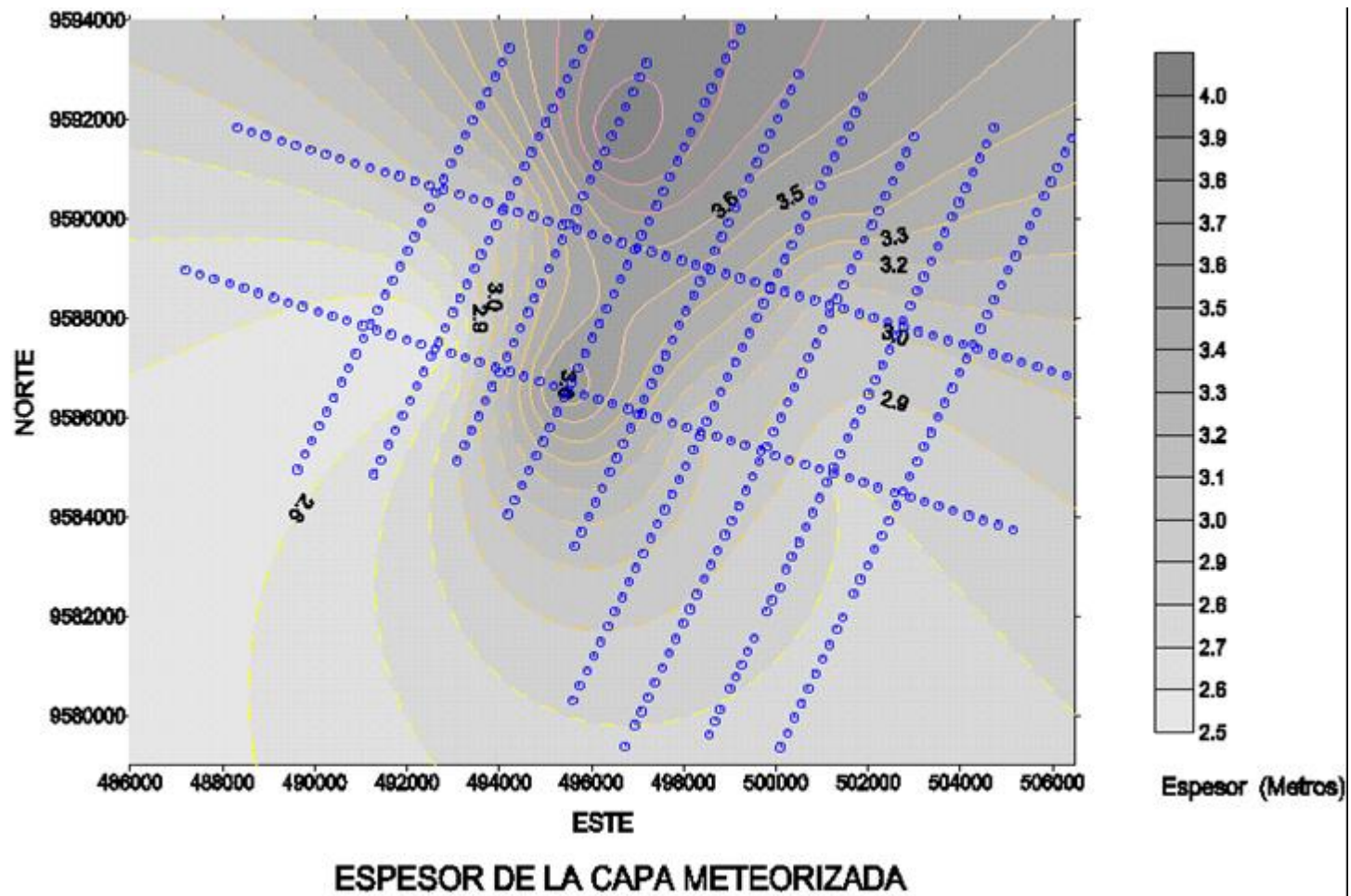


Figura 29. Mapa de contornos del espesor de la capa meteorizada, grilla kriging del dato Zo. Superposición de mapa base de las líneas del prospecto Pihuicho 2D.

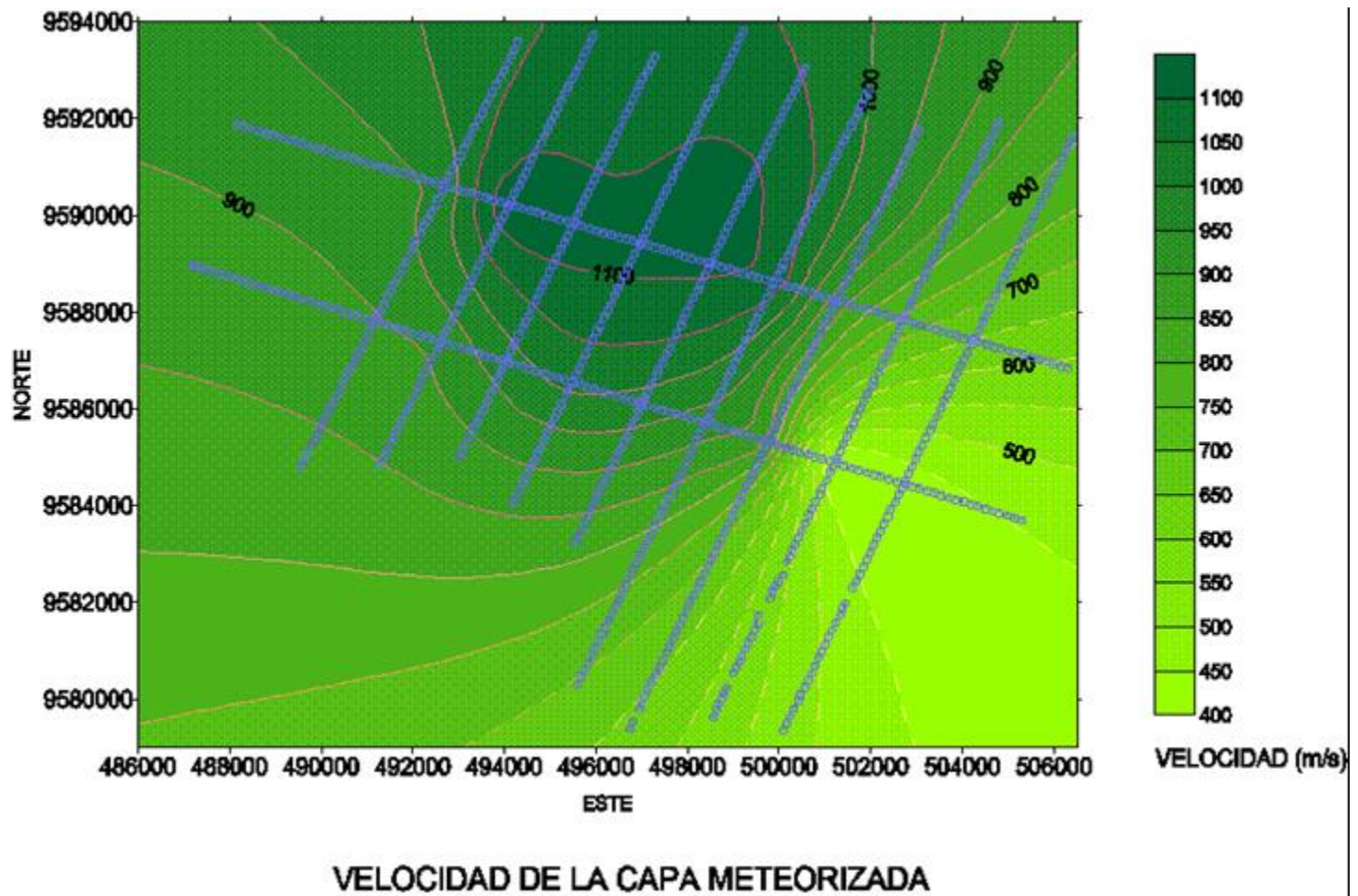


Figura 30. Mapa de contornos de la velocidad de la capa meteorizada, grilla kriging del dato V_o . Superposición de mapa base de las líneas del prospecto Pihuicho 2D

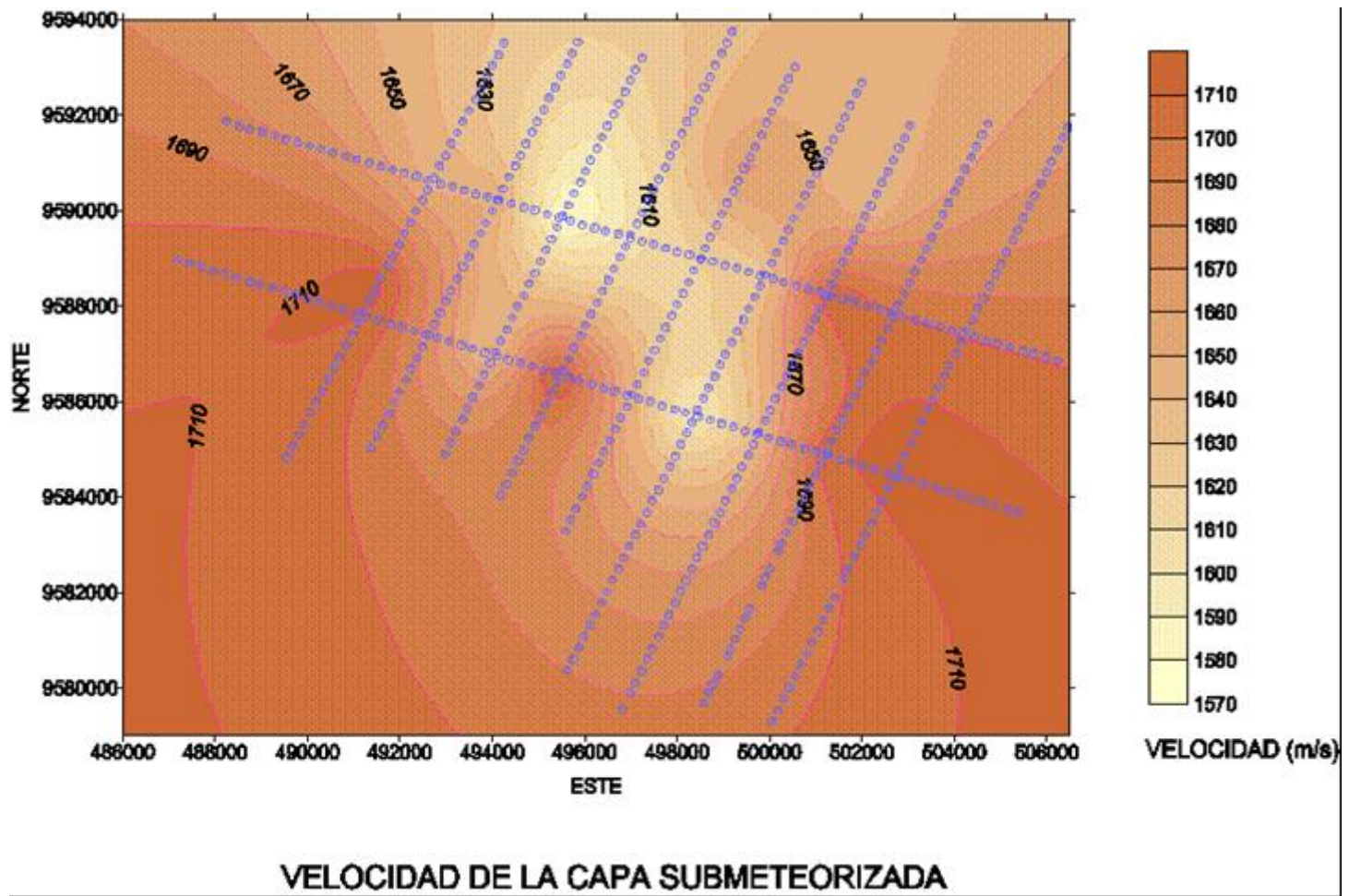


Figura 31: Mapa de Contornos de la velocidad del la capa submeteorizada. Grilla Kriging del dato V1. Superposición de mapa base de las líneas del prospecto Pihuicho 2D.

5. DESARROLLO

5.1 ADQUISICIÓN Y REGISTRO DE UPHOLE EN LA LÍNEA



Figura 32. Cámara McSeis-160MX registrando un Uphole. (Foto tomada por Roger Martínez, campamento Belén Perú 1999).

Al llegar al pozo cargado por perforación, se conectan los geófonos y el blaster a la cámara OYO McSeis-160MX y la línea de fuego del blaster al detonador(s) del nivel más profundo del pozo; se prueba el blaster en corto se prepara la maquina para registrar y se dispara. Se graba, se imprime el monitor y se -conecta al nivel superior hasta terminar con el más superficial. (Véase Figura 32).

5.2 INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS ARCHIVOS .DAT EN EL SOFTWARE UPHOLE

PROYECTO
LOTE 68 - PERU 1999
REPORTE DE UPHOLE SJ-02
CUENCA DEL MARAÑON

CENSO 00

UBICACION

LÍNEA: SJE-99-101	CRUCE:
USURARIA: 390	SJE-99-104

COORDENADAS

ESTE: 748091.37
NORTE: 9901204.33
ALTA: 1400m

INFORMACION

USA: 1308-1999	PROFUNDIDAD: 40 metros
PERFORADOR: Alberto Cuchiar	MAQUINA: Motor Vertical Honda 5 HP

CONDICIONES:

DEPERFORACION: 27 Tubos	RESISTENCIA:	AGUA: 500 Litros
-------------------------	--------------	------------------

LITOLOGIAS:

0	A	7	ARCILLA ROJIZA
7	A	28	ARCILLA ARGILOSA ROJIZA
28	A	34	ARENA ARCILLOSA DE GRANO MEDIO

REGISTRO

USA: 1308-1999	FUENTE DE TONADORES:
PROFUNDIDAD: 40 metros	
INSTRUMENTO: OYO McSEIS 160 MX	
RECEPTOR: 3 GEÓFONOS 45 HZ.A 1 cm DEL POZO	
OBSERVADOR: LUIS SILVA	DISKETTES: 2

N° DE REGISTRO	PROF (m)	TIEMPO (ms)	N° DE REGISTRO	PROF (m)	TIEMPO (ms)
SB02 025	2.5	4.89			
SB02 037	3.75	6.69			
SB02 050	5	8.05			
SB02 075	7.5	11.96			
SB02 100	10	13.88			
SB02 125	12.5	14.31			
SB02 150	15	15.74			
SB02 175	17.5	17.23			
SB02 200	20	18.72			
SB02 225	22.5	20.39			
SB02 250	25	21.88			
SB02 275	27.5	23.12			
SB02 300	30	24.85			
SB02 325	32.5	25.35			

Tabla 1. Datos de topografía perforación y registro de uphole (Realizado por Roger Martínez, campamento Belén Perú 1999).

Los archivos .Dat grabados por la máquina McSeis-160MX (Véase Figura 32.) son montados en el Software UpHole analizados e interpretados para obtener los valores de Z_0 (espesor del weathering), V_0 (velocidad del weathering) y V_1 (velocidad del subweathering). (Véase Tabla 1 y Figura 33.).

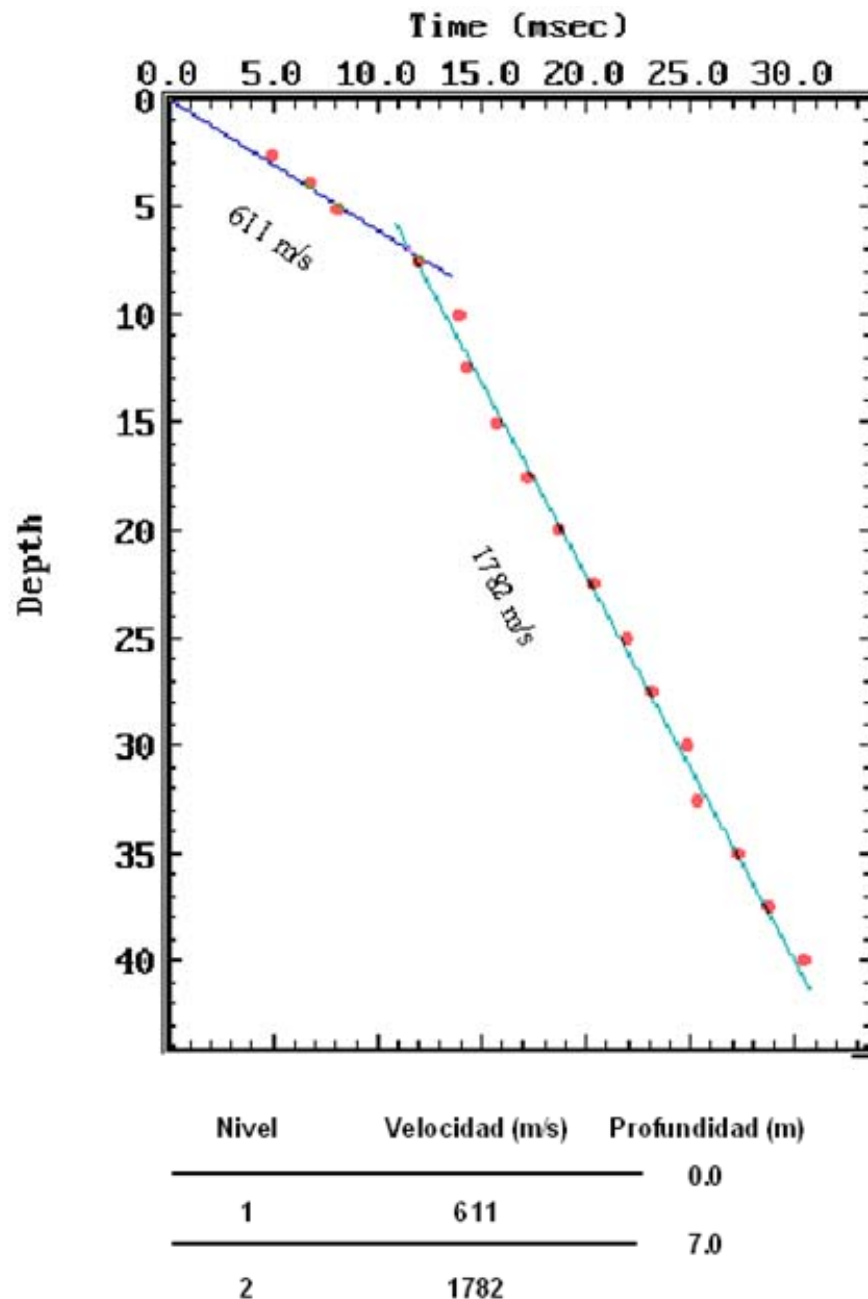


Figura 33 Curva de uphole con resultados de espesor velocidad de weathering y velocidad de subweathering. (Realizado por Roger Martínez, campamento Belén Perú 1999).

5.3 ADECUACIÓN DE LOS DATOS TIPO TEXTO A FORMATO EXCEL PARA CALCULO DE ESTÁTICAS DE USUARIO

Utilizando la formula 3.2.1.1 y teniendo en cuenta la figura 27, ya que con la interpretación de los UpHoles se pudo corroborar que todos los pozos para registrar

GAP		CORRECCION DE ESTATICAS										S
S.J.P-E-99-101												
ID	PT	TAPA	Cota	Vw	Vsw	Zo	T (m)	D (m)	Vc	SS C	ES C	
7	101		115.12	311	1005	1	159	50	1000		-2.24	
	101.5	195	116.18	310	1005	1	165	50	1000	12.000		
	102		116.51	310	1005	1	17.9	50	1000		-5.164	
	103		114.95	314	1005	1	20.0	50	1000		-7.000	
	104		116.22	315	1005	1	22.5	50	1000		-10.000	
16	104.5	195	114.03	315	1005	1	25.0	50	1000	12.000		
	105		117.55	311	1005	1	22.3	50	1000		-11.278	
	106		118.52	318	1005	1	15.0	50	1000		-8.194	
	107		119.00	320	1005	1	16.3	50	1000		-4.506	
19	107.5	195	119.53	321	1005	1	14.5	50	1000	11.004		
	108		119.40	322	1005	1	14.3	50	1000		-3.167	
	109		119.52	323	1005	1	14.0	50	1000		-2.886	
	110		119.89	325	1005	1	13.7	50	1000		-2.712	
22	110.5	195	120.13	326	1005	1	13.5	50	1000	10.701		
	111		120.64	325	1005	1	14.3	50	1000		-3.886	
	112		122.00	328	1005	1	16.0	50	1000		-6.200	
	113		121.45	320	1005	1	17.0	50	1000		-8.162	
24	113.5	195	121.29	320	1005	1	16.5	50	1000	8.800		
	114		123.06	321	1005	1	18.1	50	1000		-9.260	
	115		123.70	323	1005	1	17.3	50	1000		-8.022	
	116		123.29	324	1005	2	16.4	50	1000		-7.011	
27	116.5	195	123.03	325	1005	2	16.0	50	1000	8.100		
	117		122.53	325	1005	2	16.1	50	1000		-6.000	
	118		122.02	328	1005	2	16.3	50	1000		-6.100	
	119		123.04	329	1005	2	16.4	50	1000		-7.222	
29	119.5	195	123.05	340	1005	2	16.5	50	1000	8.100		
	120		123.14	340	1011	2	17.0	50	1000		-7.311	
	121		123.24	342	1011	2	18.0	50	1000		-8.567	
	122		122.62	340	1011	2	19.0	50	1000		-9.822	
30	122.5	195	121.85	344	1011	2	19.5	50	1000	8.800		
	123		121.07	345	1011	2	18.0	50	1000		-8.594	
	124		119.09	345	1012	2	17.5	50	1000		-6.161	
	125		118.98	348	1012	2	16.2	50	1000		-3.886	
32	125.5	195	118.64	348	1012	2	15.5	50	1000	12.000		
	126		118.07	350	1012	2	14.9	50	1000		-1.500	
	127		115.53	351	1013	2	13.0	50	1000		-3.467	
	128		115.51	352	1013	2	12.5	50	1000		0.164	
33	128.5	195	115.83	352	1013	2	12.0	50	1000	10.700		
	129		115.82	354	1013	2	12.1	50	1000		1.500	
	130		115.57	355	1013	2	12.3	50	1000		1.064	
	131		115.80	357	1014	2	12.4	50	1000		0.861	
35	131.5	195	115.90	358	1014	2	12.5	50	1000	13.000		
	132		115.48	358	1014	2	13.3	50	1000		0.071	
	133		116.92	360	1014	2	15.0	50	1000		-2.466	
	134		120.03	362	1015	2	16.0	50	1000		-5.882	
39	134.5	195	121.45	363	1015	2	17.5	50	1000	10.000		
	135		122.30	362	1015	2	18.0	50	1000		-8.484	
	136		125.15	365	1015	2	19.0	50	1000		-11.000	
	137		123.26	367	1016	2	20.0	50	1000		-13.078	
41	137.5	195	120.61	367	1016	2	20.5	50	1000	16.404		

Tabla 2. Calculo de correcciones estáticas apartir de los datos de uphole. (Realizado por Roger Martínez, campamento Belén Perú 1999).

la sísmica de reflexión quedaron por debajo de la base del weathering, y que de acuerdo a los parámetros de adquisición es de 20 (m). Se calcularon las estáticas de usuario para llevarlas a ProMax. (Véase Tabla 2).

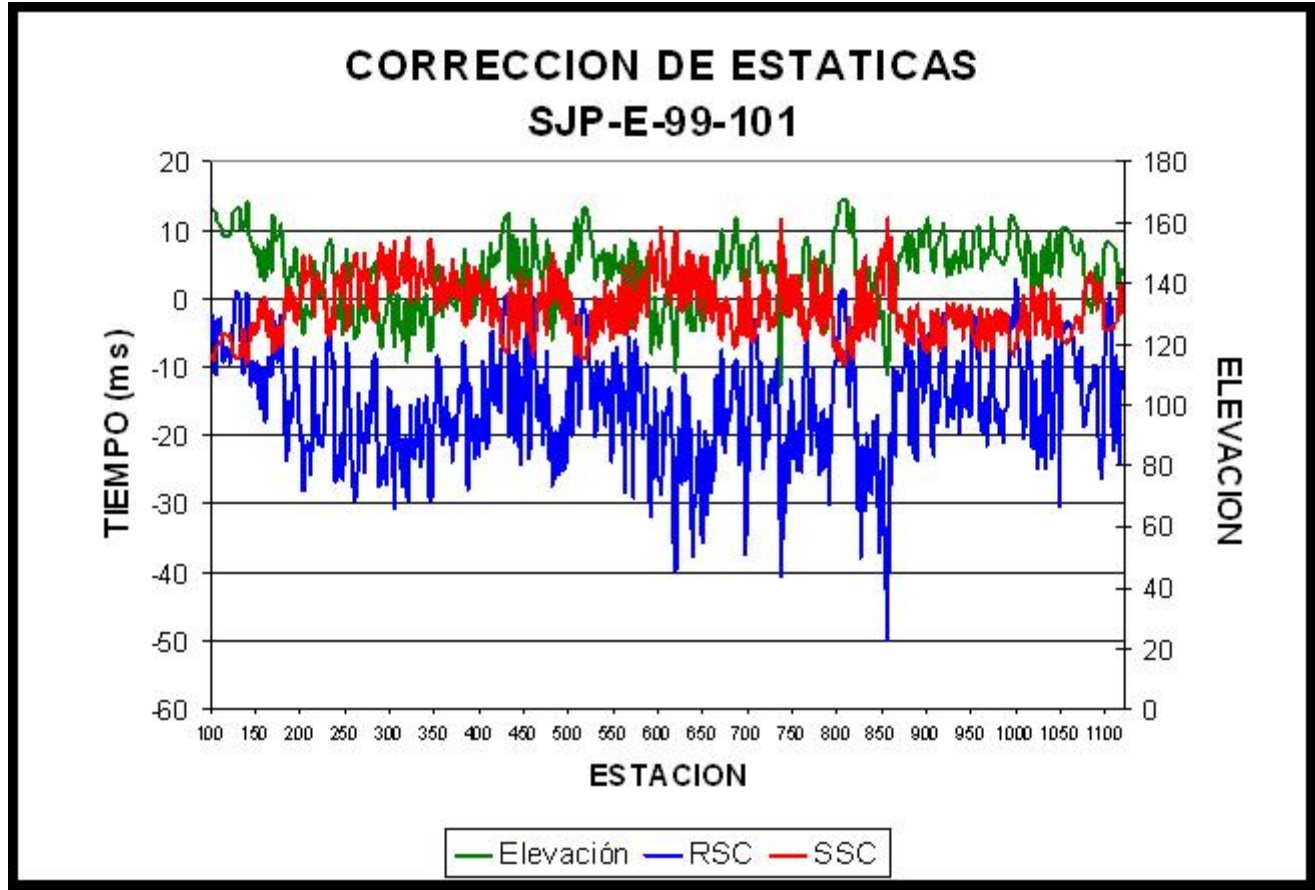
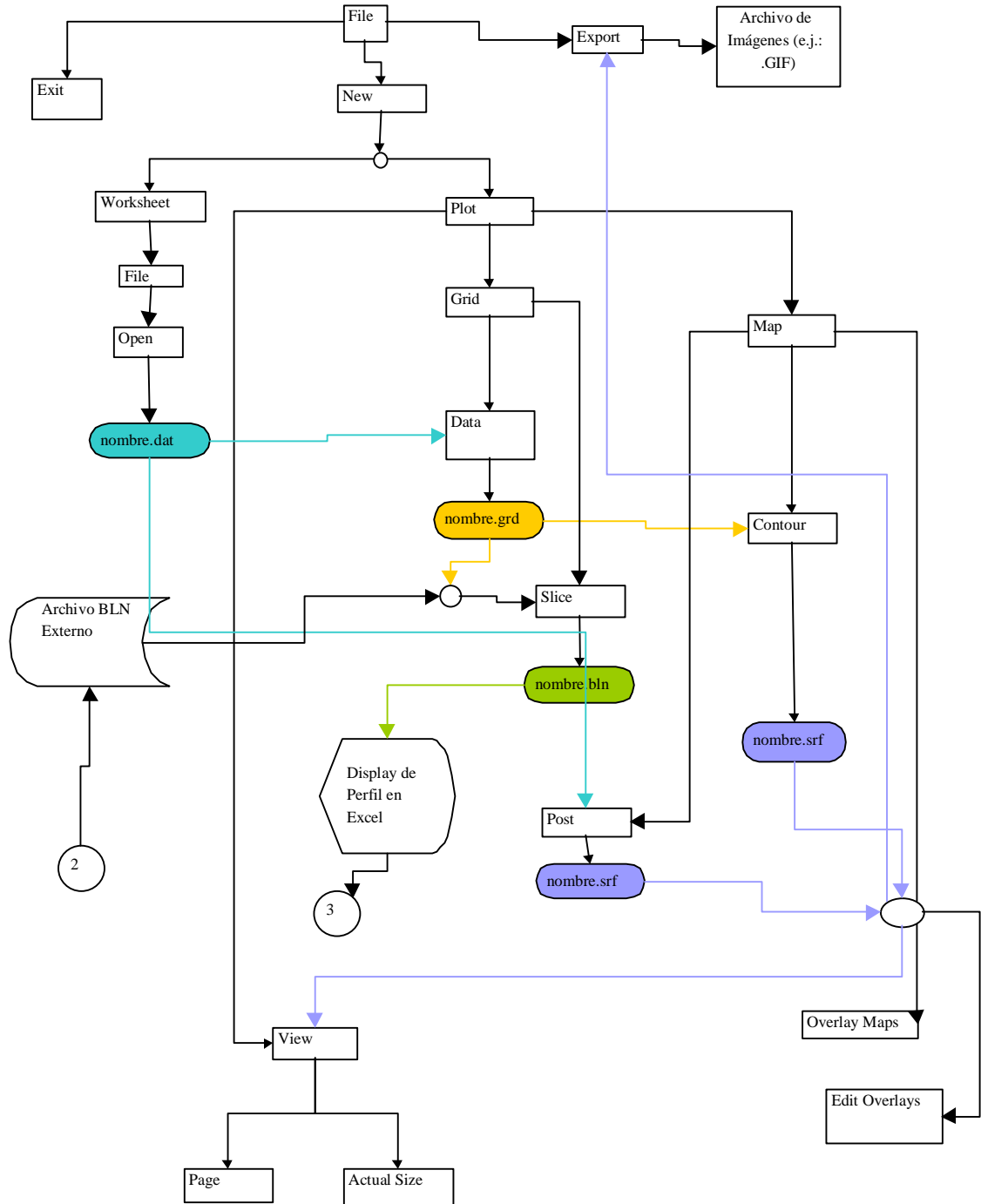


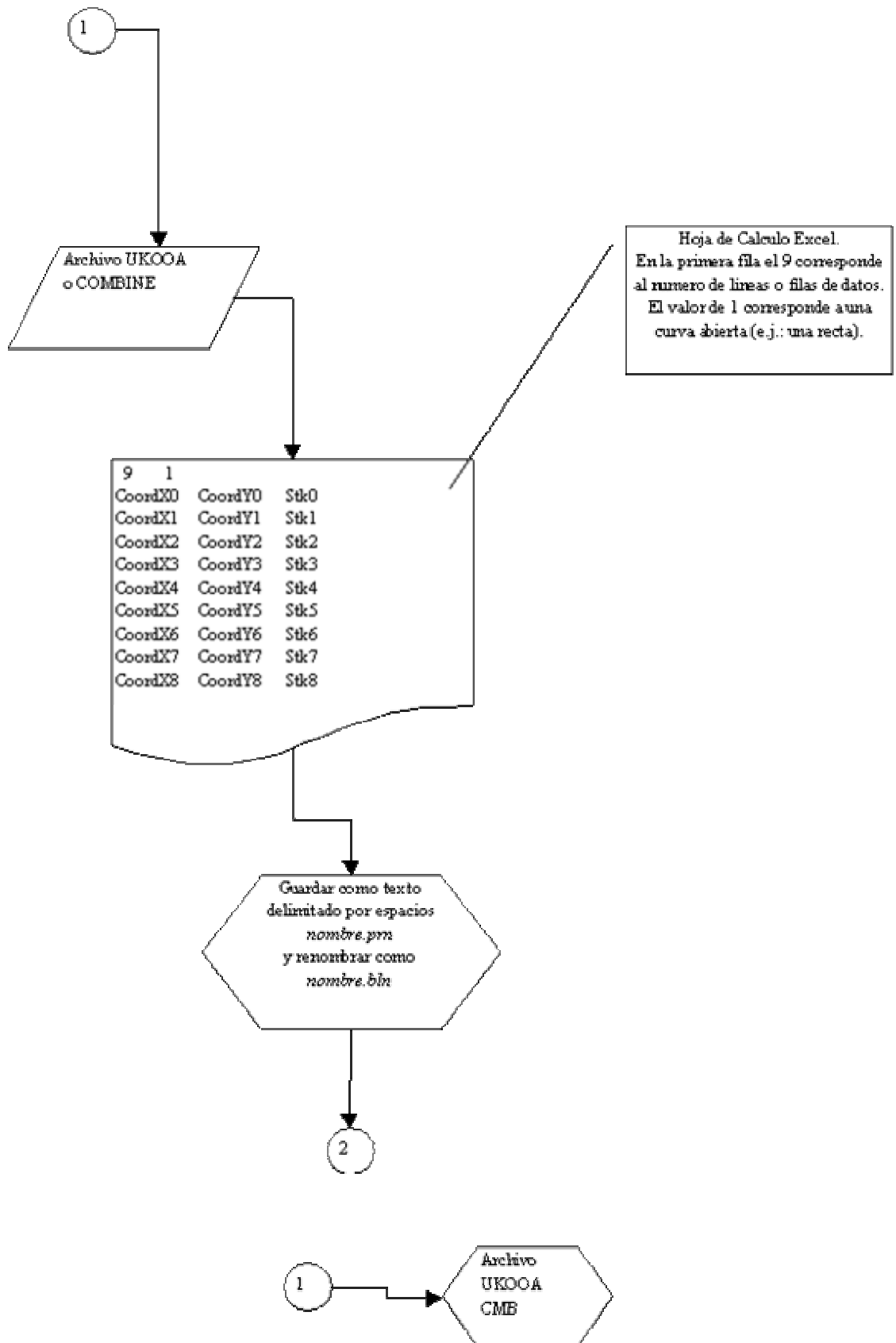
Figura 34. Correcciones estáticas graficadas a partir del resultado de la tabla 2. (Realizado por Roger Martínez, campamento Belén Perú 1999).

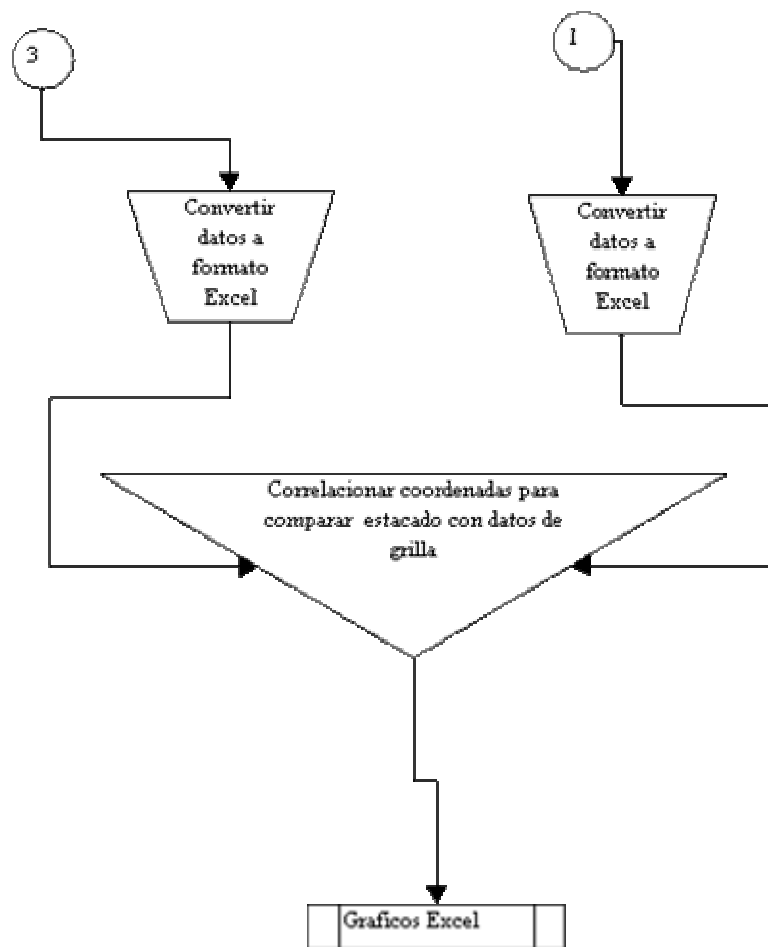
5.4 CUADRICULADO Y MAPEO

Contorneo de los datos V_0 , V_1 y Z_0 respectivamente y por aparte mediante el método de Curvatura Mínima, Salida de tres cuadrículas.

5.5 DIAGRAMA DE FLUJO PARA CREACION DE MAPAS DE CONTORNOS EN SURFER FOR WINDOWS







Los formatos Combine (CMB) y UKOOA (UKO) tienen una estructura (Véase tablas 3, 4, 5, 6,7) que permite almacenar en listados, las coordenadas X, Y, y Z de los puntos topográficos medidos en campo.

Esta información está estandarizada de manera que otros paquetes de procesamiento de datos topográficos puedan leer la información sin necesidad de cambiar la estructura original. Por esta razón, los datos conservan una estructura característica de los formatos de archivos de texto ASCII, en donde se distribuye un grupo de información, por ejemplo, Línea-Estaca-Este-Norte-Elevación-Latitud-Longitud, en 80 columnas, por renglones.

Adicionalmente, cada tipo de archivo (CMB o UKO) tienen un Encabezado o *Header*, en donde se documenta al usuario con la información del área, los

parámetros geodésicos de adquisición topográfica, y otros datos de interés, que permitan identificar la ubicación exacta de cada valor, sus tipos de datos (Véase tablas anexas) y algunos comentarios especiales sobre cambios de parámetros de estacado y otras lecturas topográficas que apoyen el cálculo de las coordenadas finales de cada locación.

A continuación se describen los formatos utilizados:

Tabla 3. Formato de registro del encabezado ukooa p1/84:

ITEM	PRIMERA COLUMNA	ANCHO	FORMATO*
Record Identifier "H"	1	1	A1
Header Record Type	2	2	I2
Header Record Type Modifier	4	1	I1
Parameter Description	5	28	7A4
Parameter Data	33	48	12A4

*A: Alfanumérico, I: Entero, 7^a4 = A28, 12^a4 = A48

Tabla 4. Datos de los parámetros del encabezado ukooa p1/84:

TIPOS	PARAMETROS	COLUMNAS	FORMATO
H01	Description of Survey Area	33-80	12A4
H02	Date of Survey	33-80	12A4
H021	Date of Issue of Post-plot Tape/Disc	33-80	12A4
H022	Tape/Disc Version Identifier	33-80	12A4
H03	Details of Client	33-80	12A4
H04	Details of Geophysical Contractor	33-80	12A4
H05	Details of Positioning Contractor	33-80	12A4
H06	Details of positioning Processing Contractor	33-80	12A4
H07	Description of Computer Systems	33-80	12A4

H08	Coordinate Location (centre of source)	33-80	12A4
H090	Offset from Coordinate location to power source or receiver	33-80	12A4
H09x	Other specified offsets	33-80	12A4
H10	Spare	33-80	48X*
H11	Number of receiver groups per shot	33-80	12A4
H12	Spheroid definition as used for survey (name, semi-major axis, reciprocal flattening (1/f))	33-80	6A4, F12.3, F12.7**
H13	Spheroid definition as used for post-plot (name, semi-major axis, reciprocal flattening)	33-80	6A4, F12.3, F12.7
H14	Geodetic datum description as used for survey (including transformation parameters to WGS84)	33-80	12A4
H15	Geodetic datum description as used for post-plot (including transformation parameters to WGS84)	33-80	12A4
H160	Full details of datum transformation parameters between H12/14 y H13/15	33-80	12A4
H161	For up to seven parameters, if applicable	33-80	12A4
H17	Vertical Datum Description	33-80	12A4
H18	Projection Type	33-80	12A4
H19	Projection Zone (including hemisphere for UTM)	33-80	12A4
H20	Description of Grid Units	33-56	6A4
H210	Latitude of Estandard Parallel(s) (d.m.s. N/S)	33-56	2 (I3, I2, F6.3, A1)
H221	Longitude of Central Meridian (d.m.s E/W)	33-44	I3, I2, F6.3, A1
H231	Grid Coordinates at grid origin (E, N)	33-56	2 (F11.2, A1)
H241	Scala Factor	33-44	F12.10
H242	Latitude, Longitude at which scale factor is defined	33-56	2 (I3, I2, F6.3, A1)
H256	Latitude, Longitude of two points defining initial line of projection	33-80	4 (I3, I2, F6.3, A1)

H257	Circular bearing of initial line of projection (d.m.s.)	33-44	I3, I2, F7.4
H258	Quadrant bearing of initial line of projection (N/S, d.m.s., E/W)	33-44	A1, I2, F6.3, A1
H259	Angle from skew to rectified grid	33-44	I3, I2, F7.4
H26	Any other relevant information	5-80	19A4

*48X: Cualquier tipo (Alfanumérico, Entero o Punto Flotante)

** F12.7: Punto flotante de 11 cifras + 1 punto decimal, de los cuales 7 son decimales

Tabla 5. Datos de los parámetros del encabezado ukooa p1/84:

ITEM	1 ^{ra} COLUMNA	ANCHO	FORMATO
Record Identification "S": Shot Point "V": Vibration Point "C": CDP Point "R": Receiver Point "G": Gravity Point	1	1	A1
Line Name (Left Adjusted)	2	16	4A4
Point Number (right adjusted)	18	8	2A4
Latitude (d.m.s. N/S)	26	10	I2, I2, F5.2, A1
Longitude (d.m.s. E/W)	36	11	I3, I2, F5.2, A1
Map Grid Easting	47	9	F9.1
Map Grid Northing	56	9	F9.1
Elevation in metres	65	6	F6.1
Spare	71	10	10X

Formato Combine Cmb Y Geo (Coordenadas Geográficas)

Tabla 6. Formato de parámetros de encabezado cmb/geo:

DESCRIPCIÓN DE PARAME	5 DATOS DE PARAMETROS	COLUMNAS	FORMATO
-----------------------	-----------------------	----------	---------

TROS			
Area Information	Survey Name/Area, License Block number	1-80	80X
Client Information	Client operator, Geophysical Contractor, Navigation/Positioning Contractor, Navigation/Positioning Processing Contractor, Survey dates	1-80	80X
Positioning Information	All positioning systems employed, description of point mapped (centre of seismic array), with offset distance from reference point or stake	1-80	80X
Geodetic Information	Ellipsoid name, semi-major axis, flattening, datum name, parameters for transformation (WGS84 to Local Datum), Source of Geodetic Information	1-80	80X
Projection Information	Map projection name, UTM Zone, origin of grid (Latitude, Longitude, False Northing, False Easting), scale factor	1-80	80X
Unit Information	Units for grid coordinates and elevations	1-80	80X
Survey Information	General Comments	1-80	80X

*Esta información debe ir centrada, con un signo “:” en la posición 41 para cada ítem

Tabla 7. Parámetros de Registro de Datos CMB/GEO:

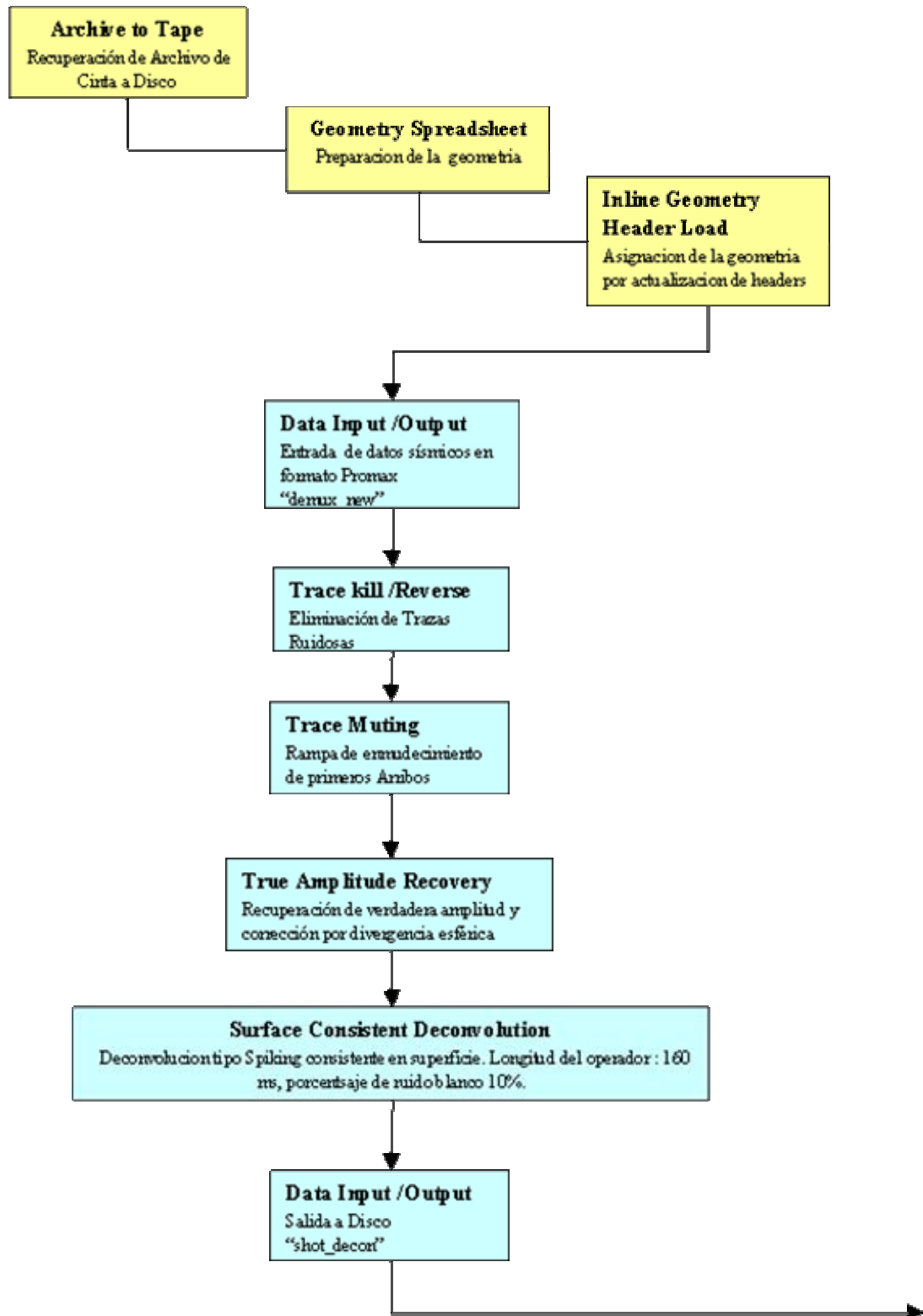
ÍTEM	DESCRIPCION	TIPO DE CAMPO	1ª COLUMNA	ANCHO
1	Data Record Identifier	Blank	1	1
2	Station Number (right justified)	I8	18	8
3	Map Grid Easting	F11.2	10	11
4	Map Grid Northing	F12.2	21	12
5	Latitude (d.m.s., E/W)*	(I3, I2, F4.2, A1)	33	10
6	Longitude (d.m.s., N/S)*	(I3, I2, F4.2, A1)	43	10

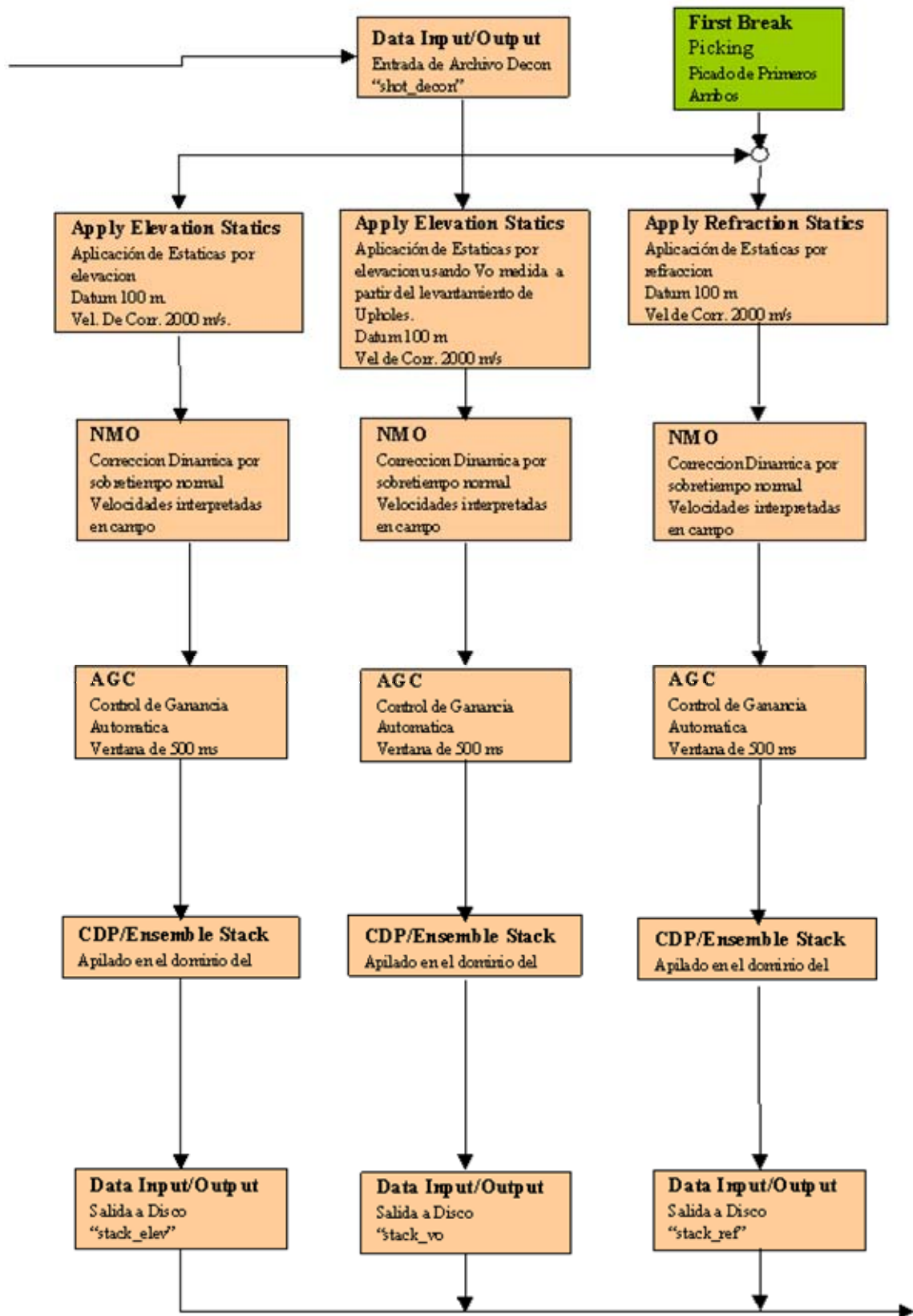
7	Elevation above mean sea level	F8.2	54	8
8	Line Name (right justified)	3A4	62	12
9	Reference Point ID (OF, IP, IC, etc	1A3	74	3
10	Spare**	1A4	77	4

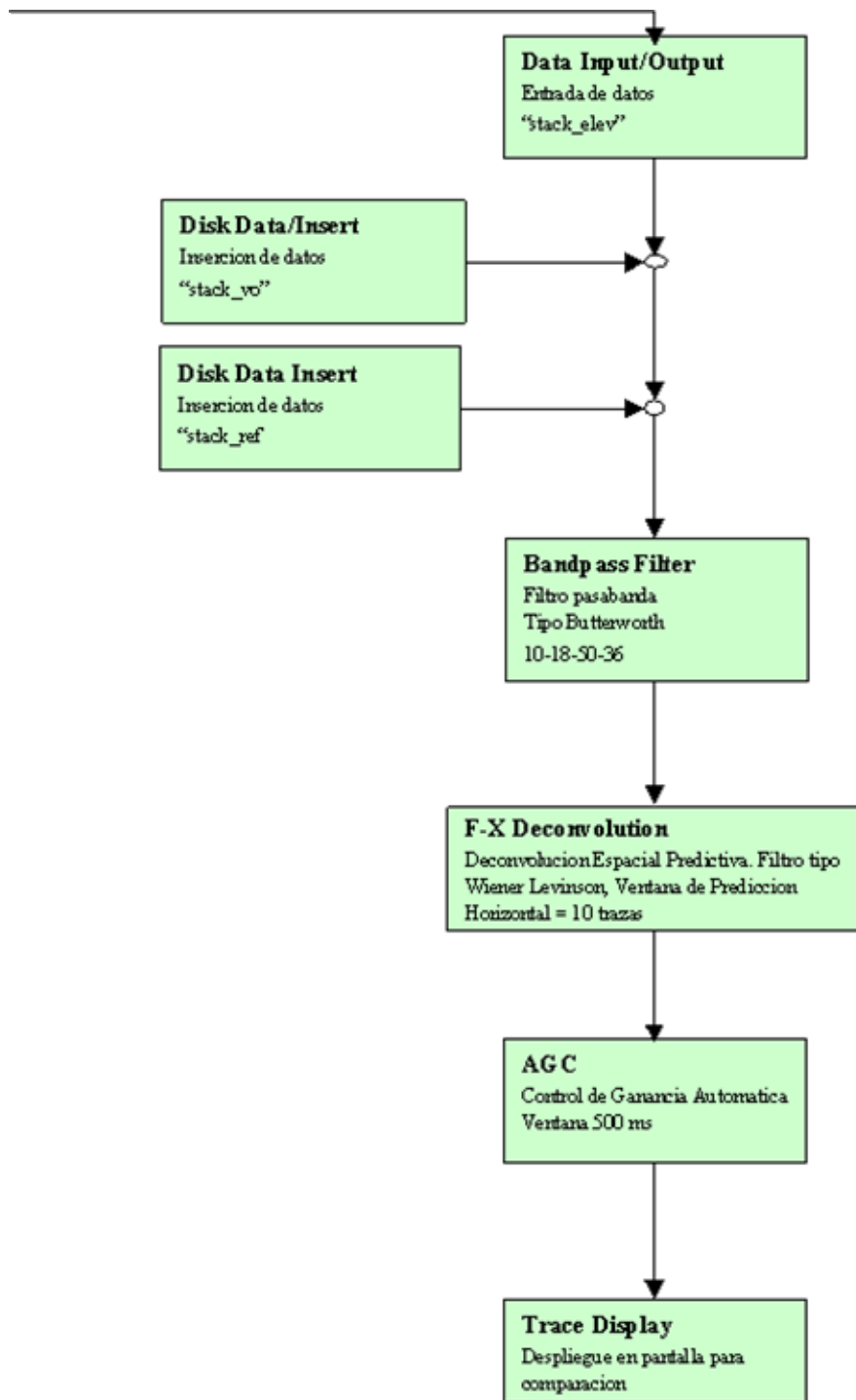
*Información contenida únicamente en el formato GEO

** 4 espacios utilizados para control de ajustes de coordenadas, elevación y azimut (XXX)

5.6 DIAGRAMA DE FLUJO DE ENTRADA DE DATOS A PROMAX







5.7 CONTORNEO DE LA VELOCIDAD DE WEATHERING A PARTIR DE TIEMPO UPHOLES DE POZOS DE REGISTRO (SP).

Teniendo en cuenta que los pozos de registro superaron la base del weathering y los resultados de uphole de pozo profundo (Uh-Survey), se generó un mapa de contornos de la variable velocidad de weathering (Véase Figura. 43), para compararlo con el obtenido a partir de los datos UpHoles de pozo profundo (Véase Figura. 35 y las siguientes ecuaciones).

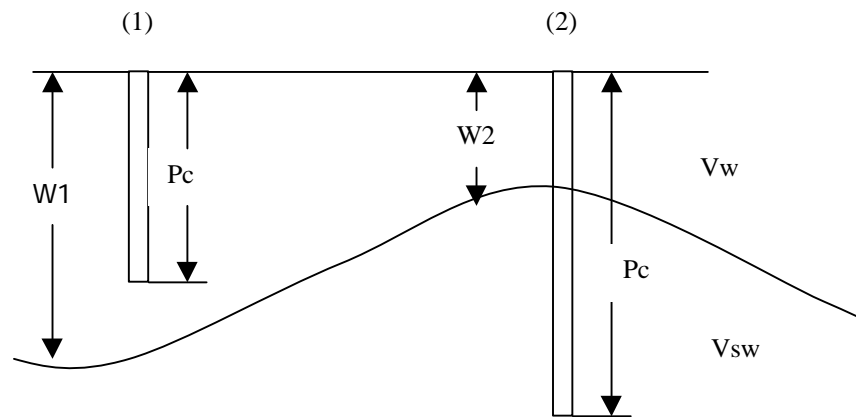


Figura 35. Profundidad de carga (Pc) por encima (1) y por de bajo (2) de la capa de weathering.

$$(1) - Tuh_1, Pc_1$$

$$Vw_1 = \frac{Pc_1}{Tuh_1}$$

$$(2) - Tuh_2, Pc_2, W_2(Uh - Survey), Vsw_2(Uh - Survey)$$

$$\Rightarrow Vw = \frac{W_2}{Tw}$$

$$Tuh_2 = Tsw + Tw$$

$$Tsw = \frac{Pc_2 - W_2}{Vsw_2}$$

$$Tw = Tuh_2 - Tsw$$

6. RESULTADOS

La información en el presente análisis corresponde a los datos sísmicos del proyecto Lote 68 2D (Véase Figura 36). Perteneciente a la compañía Petrolera Argentina San Jorge sede Perú. Para esto se dispuso de los datos del levantamiento de uphole o pozo profundo.

El proyecto de 212. km. distribuidos en 12 líneas sísmicas se encuentra ubicado en el área de la población de Belén a orillas del Río Tigres en el Departamento de Loreto. El levantamiento de Upholes consta de 40 puntos distribuidos: 11 en las intersecciones de las líneas y el resto hacia la parte extrema y media de las líneas en el área de adquisición (Véase Figura 36).

El análisis se centró específicamente sobre la línea SJP-99-101 utilizando para ello los datos sísmicos correspondientes a esta línea y un contorno de los resultados del levantamiento total de Upholes realizado en el área del prospecto.

De acuerdo al resultado obtenido en los mapas de contornos y observando la figura 37 Espesor de Weathering, los espesores mayores se observan hacia la parte central de la línea con una disminución de valor mínimo hacia ambos lados de la línea, luego un aumento de valor medio hacia ambos lados y luego una disminución hacia los extremos con valor mínimo.

Para el resultado de contorno de velocidad de weathering figura 38. Se observa un comportamiento parecido al del espesor de weathering con la diferencia que en la

MAPA DE LOCALIZACION DE UPHOLES LOTE 68 2D

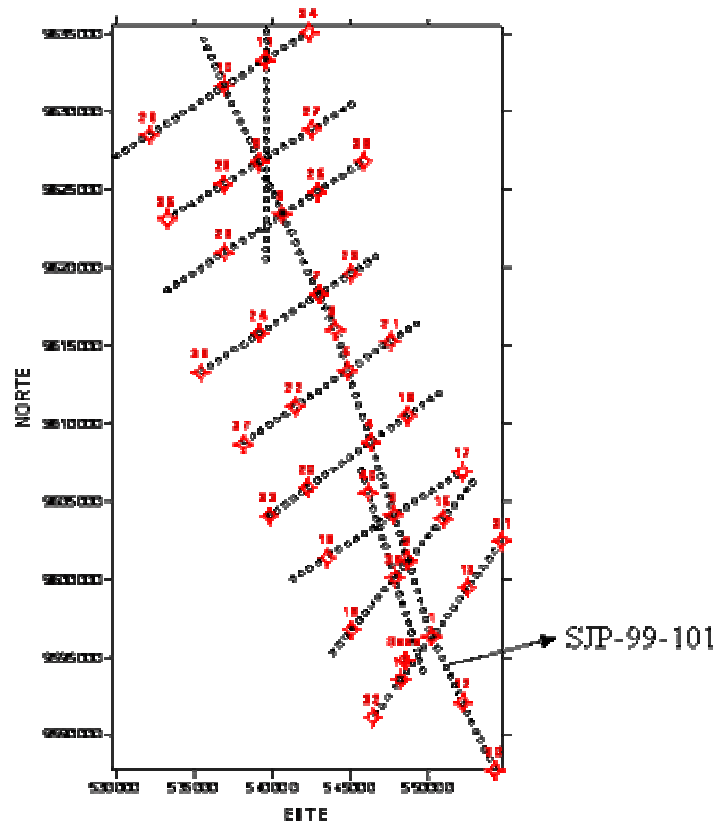


Figura 36. Mapa de líneas con ubicación de Upholes Lote 68 2D
(Realizado por Roger Martínez, campamento Belén Perú. 1999).

zona donde se observa un valor medio de espesor de weathering, para el caso de la velocidad se tienen valores parecidos al valor alto de la zona central de la línea.

El contorno de velocidad de subweathering también muestra variaciones parecidas a los mapas anteriores de valores altos medios y bajos de velocidad a través de las diferentes zonas de la línea.

En general para la obtención de los tres mapas de contornos el método de curvatura Mínima fue el que mejor interpoló los datos.

Para tratar de mejorar los resultados se realizó un mapa de contornos de velocidad de weathering calculada a partir del tiempo de uphole de pozo de registro y

utilizando el mismo método de cuadrículado como punto de comparación. El contorno desmejoró generando en algunos puntos de los extremos y hacia el sur contornos concéntricos que no son los mejores y también se observan valores de velocidad no muy variables para toda la línea.

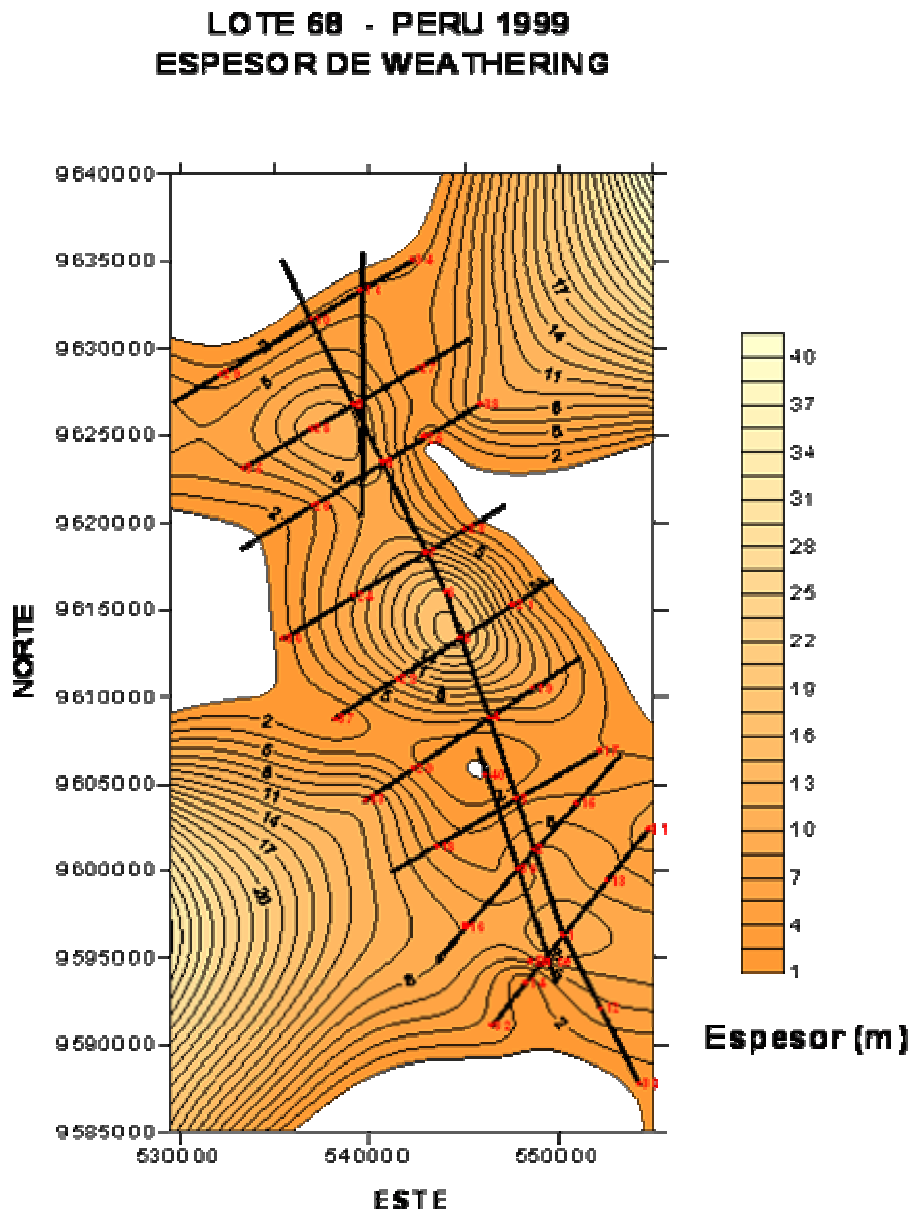


Figura 37. Mapa de contornos del espesor de la capa meteorizada. Cuadrícula Curvatura Mínima del dato Zo. Superposición del mapa base de las líneas del prospecto Lote 68.

LOTE 68 - PERU 1999
VELOCIDAD DE WEATHERING

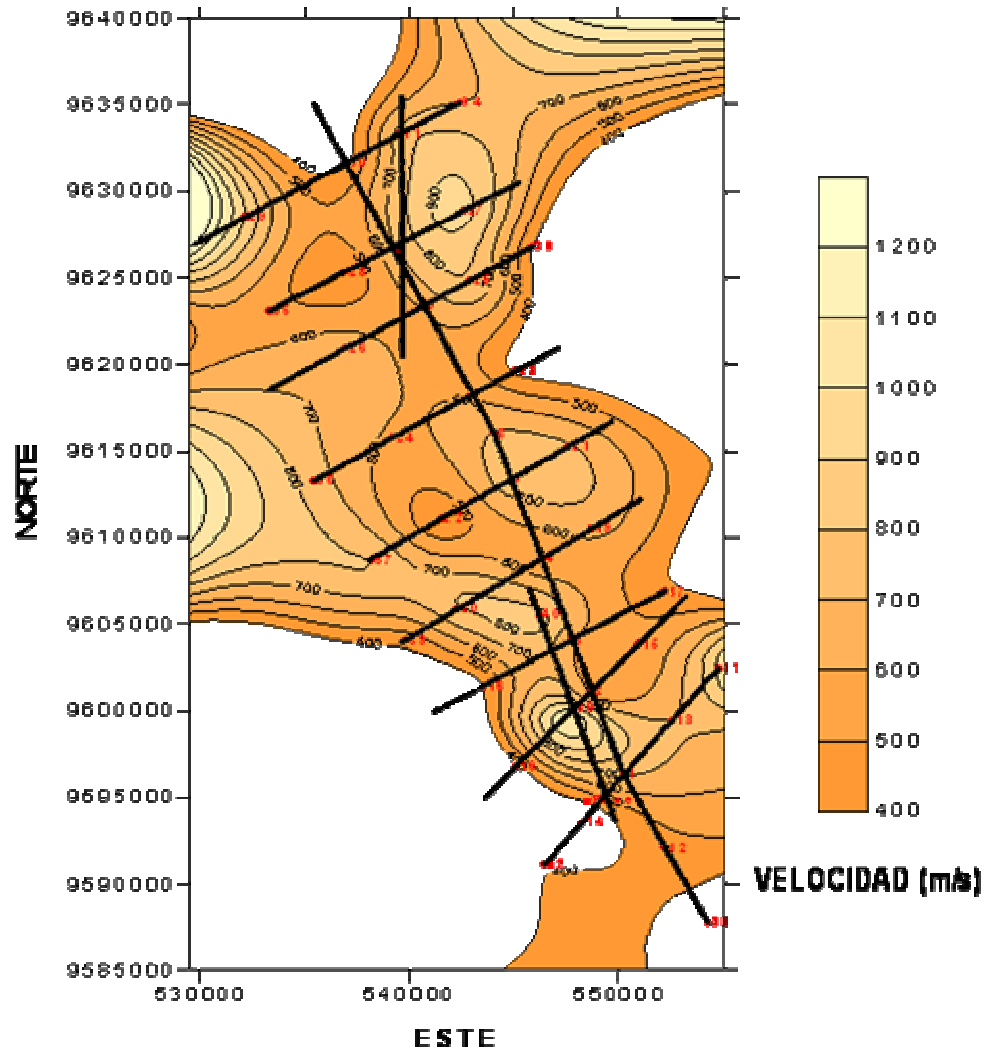


Figura 38. Mapa de contornos de la velocidad de la capa meteorizada. Cuadrícula Curvatura Mínima del dato V_0 . Superposición del mapa base de las líneas del prospecto Lote 68.

LOTE 68 - PERU 1999
VELOCIDAD DE SUBWEATHERING

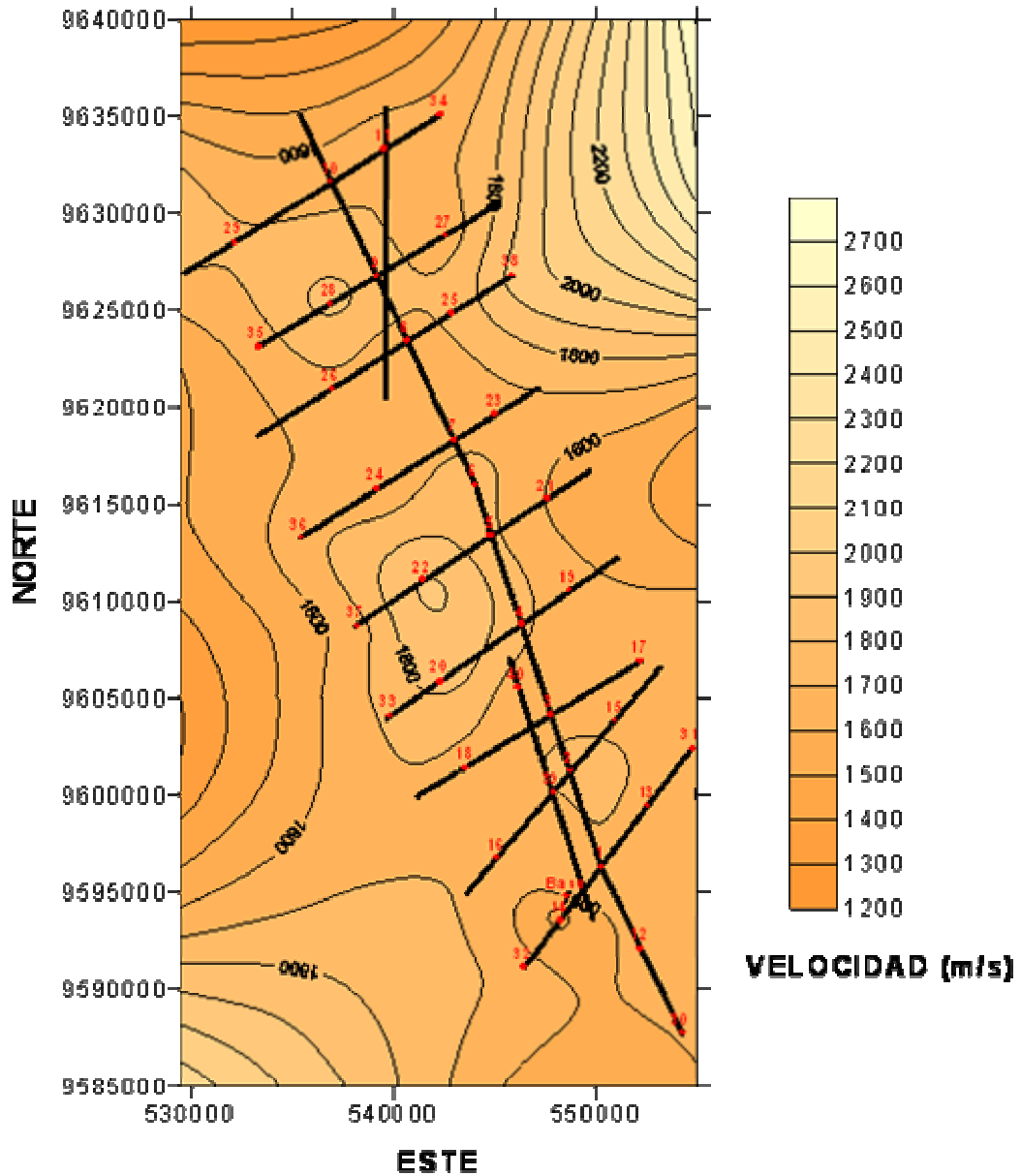


Figura 39. Mapa de contornos de la velocidad de la capa submeteorizada. Cuadrícula Curvatura Mínima del dato V1. Superposición del mapa base de las líneas del prospecto Lote 68.

LOTE 68 - PERU 1999

VELOCIDAD DE WEATHERING (SP)

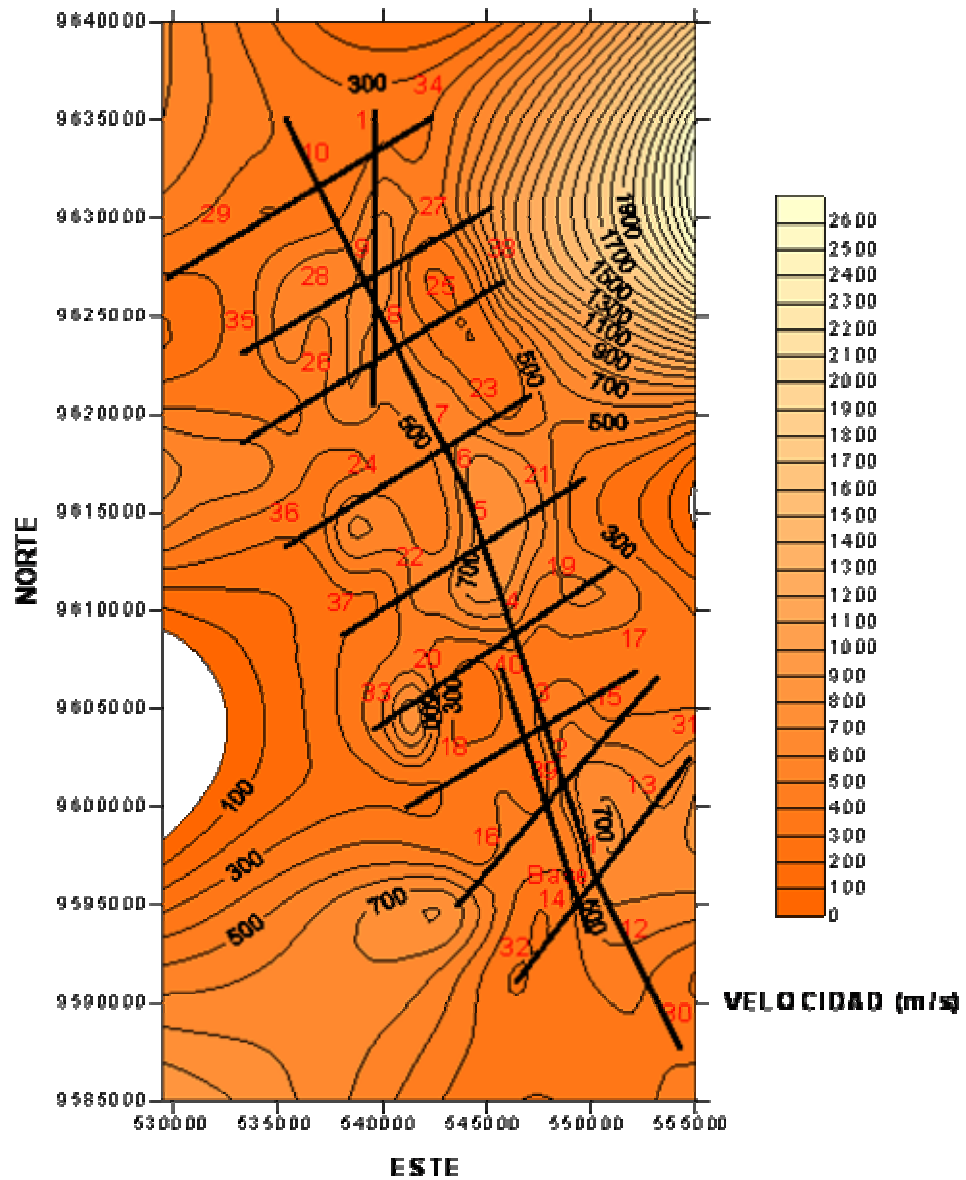


Figura 40: Mapa de contornos de la velocidad de la capa meteorizada, a partir de V1 calculado de los puntos de disparo e interpolado para todo el prospecto. Cuadrícula Curvatura Mínima del dato V1. Superposición del mapa base de las líneas del prospecto Lote 68.

Se realizaron tres apilados aplicando cálculos de estáticas diferentes para cada uno: Estáticas por elevación (Véase Figura 41), estáticas por elevación con tiempo de uphole (Véase Figura 42), y estáticas de refracción (Véase Figura 43).

Para el caso del apilado de la figura 41 y en general para los otros tres los problemas de estáticas se observan hacia mayores y en la parte cercana a superficie hasta los 500 ms, donde en algunos puntos se pierde la continuidad de los horizontes y algunos no se observan completamente rectos.

En cuanto a la comparación de los resultados los cuatro apilados no presentan una diferencia grande y guardan una secuencia de mejoría de acuerdo a lo teórico, donde cada solución de acuerdo a la secuencia realizada debe mejorar. Para el caso particular de la solución de estáticas de elevación con los tiempos de uphole y las estáticas de elevación con los tiempos de pozo profundo son muy similares, casi iguales y que de acuerdo a la secuencia se esperaba que fueran mejores.

Los datos sísmicos son de buena calidad es decir, existen buenos eventos reflectores en la adquisición a lo largo de la línea. Al correlacionar los resultados de la sección sísmica con el estudio de uphole se observa que entre las estaciones 2554 y 2604 existe una discordancia en el evento reflector que se encuentra entre 2600 y 2800 ms; esta discordancia guarda relación con los cambios de velocidad y espesor que se resaltaron anteriormente.

Existen algunas diferencias en los apilados pero básicamente se preservan los eventos reflectores más importantes y en especial los que corresponden a la zona de interés, entre 2000 y 2700 milisegundos.

La solución de estáticas usando los tiempos de upholes de registro es quizás la mejor solución ya que las velocidades de apilado fueron analizadas con estas estáticas; sin embargo el apilado con estáticas por elevación usando v_0 calculado a

partir del estudio de upholes conlleva a un apilado muy similar al primero lo cual reconfirma que los tiempos de registro son confiables, el uso de este dato es preferencial para este ejemplo pues ofrece la ventaja de un mayor número de datos (un tiempo por cada disparo) y en el estudio de uphole se dispone de tan solo 6 datos regularmente espaciados a lo largo de la línea y tampoco ofrece la mejor distribución de puntos en el área.

En el apilado usando estáticas por refracción se observa un shift de 50 ms aproximadamente en los eventos reflectores, este corrimiento se aprecia claramente con el evento que aparece entre 2000 y 2200 ms en los apilados con estáticas por elevación y que en el apilado por refracción se ve a 2000 ms; este desplazamiento en tiempo puede ser causa de un problema de estáticas de período largo, ya que la estructura sufre algunos cambios en cuanto a su geometría en profundidad con relación a la longitud de un tendido en superficie; del resultado del espesor de weathering se observa que el espesor no es mayor a cuatro metros y que los pozos de adquisición sísmica a veinte metros garantizó que los pozos se encontraran en la capa consolidada y por lo tanto la fórmula usada teniendo en cuenta esta situación es la adecuada.

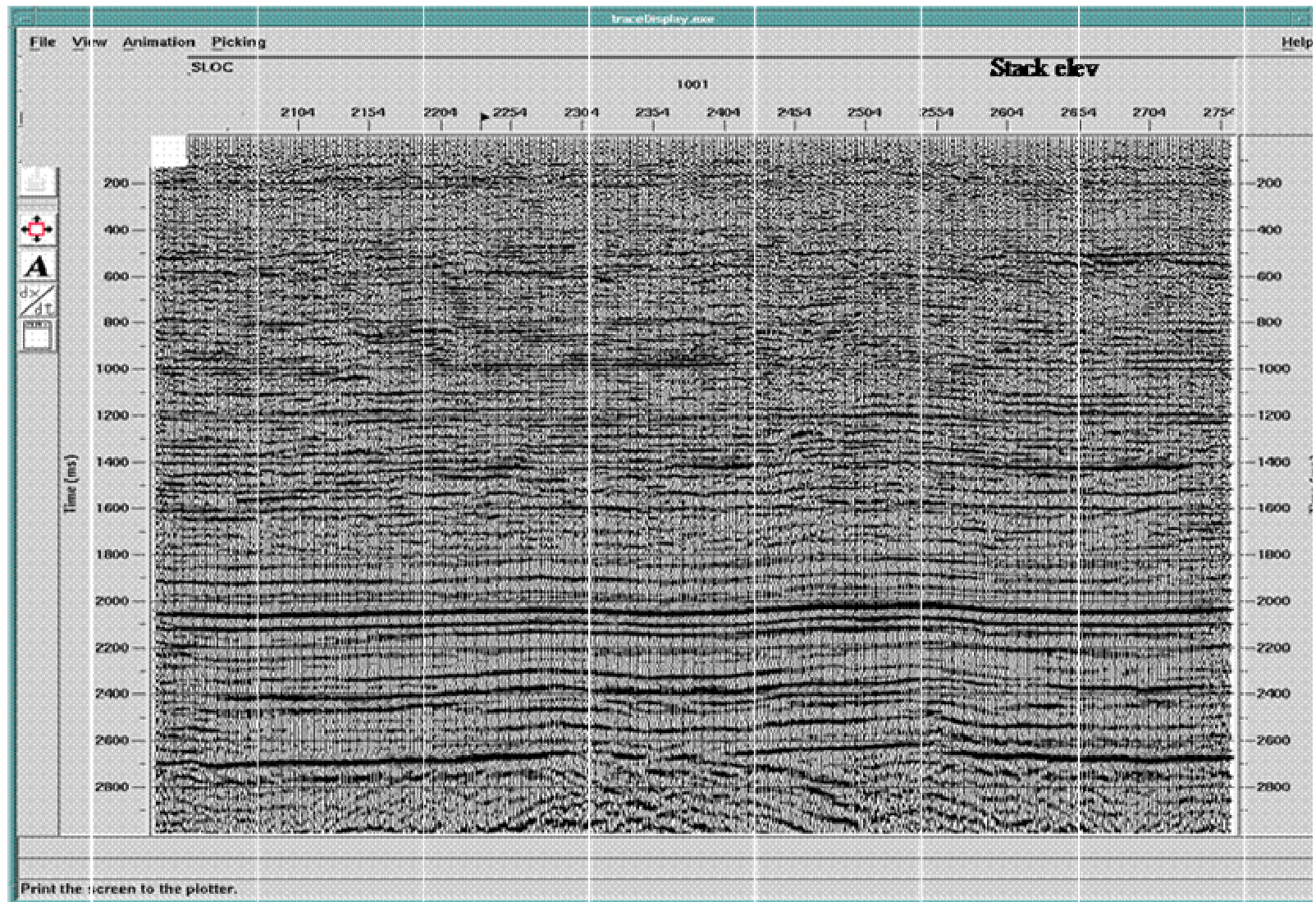


Figura 41. Apilado Bruto con aplicación de estáticas por el método de elevación utilizando los tiempos de pozo del registro sísmico. Línea SJP-99-101.

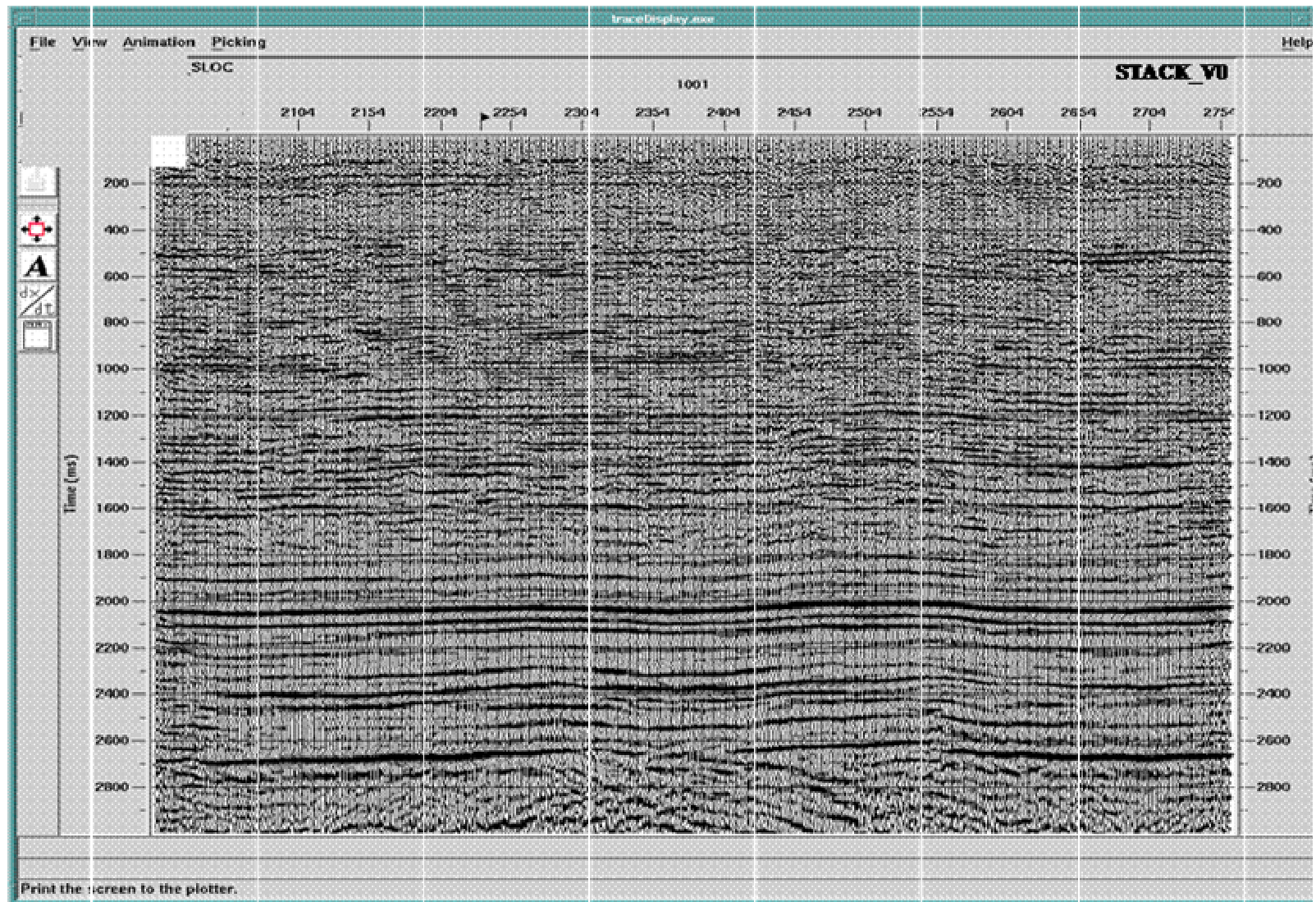


Figura 42. Apilado Bruto con aplicación de estáticas por el método de elevación utilizando los tiempos de pozo profundo para el cálculo de la velocidad V_0 . Línea SJP-99-101

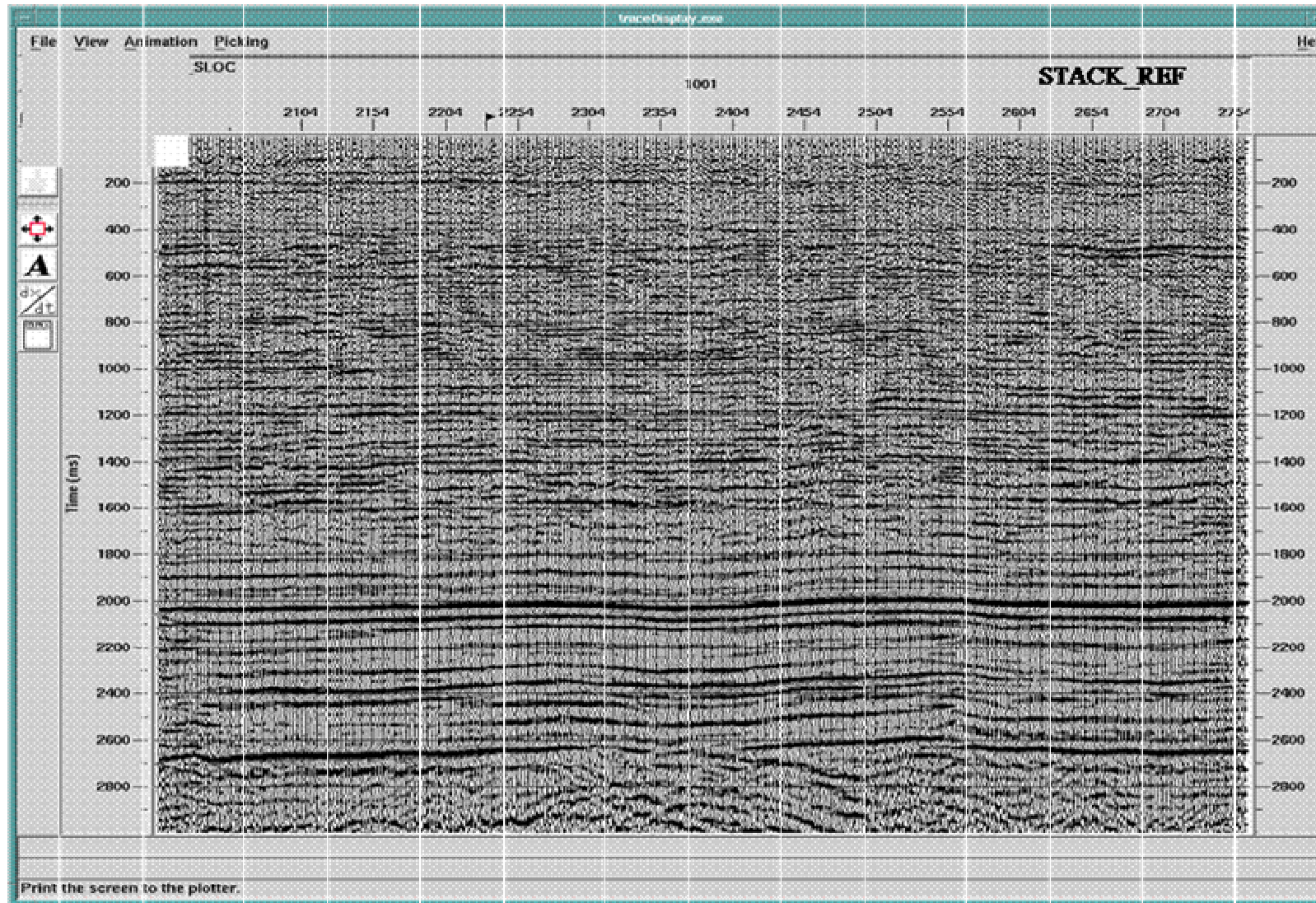


Figura. 43 Apilado Bruto con aplicación de estáticas por el método de refracción utilizando los tiempos de pozo profundo para el cálculo de la velocidad V_0 . Línea SJP-99-101

7. CONCLUSIONES

Se generó una metodología por medio de la cual se obtuvo un cálculo de estáticas a partir de los datos obtenidos en el levantamiento de uphole

Se generaron mapas de contornos con Surfer for Windows los cuales mostraron una tendencia generalizada del comportamiento de la capa meteorizada en cuanto a su espesor velocidad y velocidad del subweathering

Los UpHoles son importantes para determinar el espesor y la velocidad de weathering de una manera puntual y generar una tendencia regional del comportamiento del weathering a través de Surfer u otro software.

Al comparar los apilados obtenidos directamente por el programa de procesamiento Promax con los obtenidos luego de importar los cálculos obtenidos con la información de uphole al mismo sistema, no se observó un cambio significativo en este apilado de modo que mejorara la calidad y resolución de la información en comparación con los otros dos apilados, que era lo que se esperaba en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

BADLEY, Michael. E. Practical Seismic Interpretation., 1985. P. 1-2, 140-147, 185-186

CERVANTES, Pedro., 1995. Introduccion a 3D. The Andrews Group International, Inc. División de Geociencias.

DOBRIN, Milton & SOVRIT, C., 1998 Introduction to Geophysical Prospecting. USA.

ECOPETROL. Curso de Adquisición y Procesamiento 3D.,1997. Colombia.

EVANS, Brian. J., 1997. Geophysical Monograph Series. SEG

GAPS,, 1998 Geophysic Course. Colombia.

GAPS LTD. Sucursal PERU. Reporte Final de Operaciones Sísmicas.PLUSPETROL PERU CORPORATION. Programa YACUMAMA & PIHUICHO 2D. 1998.

GALBRAITH, Mike.,1995. 3D Survey Design by Computer. SIS

HATCHER, Jr. Robert. D. Structural Geology. Principles, Concepts, and Problems. 1990. P. 201-236, 434-462.

MERA, R., 1985 Correcciones Estáticas. Geosource INC.Bogota Colombia.

ProMax, Reference Manual. Version 6.0. Volumen 1. Advance Graphics Compani.
1995

SHERIFF. R. & GELDART, L., 1991. Exploración Sismológica. Vol. 1. Mexico.

STONE, Dale. G., 1994. Designing Seismic Surveys in Two and Tree
Dimension.SEG.

SURFER for Windows.,1994. Version 6. Contouring and 3D Surface Mapping.
Golden Software, I nc.

WYE, Robin., 1999. Field Geophysics Handbook. Versión. 1. GAPS Ltd.

YILMAZ, Ozdogan., 1987. Seismic Data Processing. SEG.