

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FALLAS SELLADAS O PARCIALMENTE SELLADAS POR SEDIMENTOS A PARTIR DE LA EVALUACIÓN GEOFÍSICA INTEGRADA, EN LOS SECTORES DE LA VICTORIA (EDO. ARAGUA) Y SANTA LUCÍA (EDO. MIRANDA)**

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de

Venezuela para optar el Título

de Ingeniero Geofísico

Por el Br. Álvarez Hostos, Roberto M.

Caracas, Junio 2004

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FALLAS SELLADAS O PARCIALMENTE SELLADAS POR SEDIMENTOS A PARTIR DE LA EVALUACIÓN GEOFÍSICA INTEGRADA, EN LOS SECTORES DE LA VICTORIA (EDO. ARAGUA) Y SANTA LUCÍA (EDO. MIRANDA)**

TUTOR ACADÉMICO: Dr. Michael Schmitz

TUTOR INDUSTRIAL: Aldo Cataldi

COTUTOR ACADÉMICO: Prof. Rommel Whilchy

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de

Venezuela para optar al Título

de Ingeniero Geofísico

Por el Br. Álvarez Hostos, Roberto M.

Caracas, Junio 2004

## **DEDICATORIA**

A mi madre Yesmín del Valle Hostos Bichara y a mis hermanos (Juan Carlos. y Yesmincita) que me han apoyado en todos los momentos de mi vida y seguimos unidos.

## AGRADECIMIENTOS

- ❖ Dios padre y mi familia por darme tantas oportunidades y apoyo.
- ❖ A mis tutores Michael Schmitz y Rommel Whilchy por la colaboración brindada siempre que la necesite.
- ❖ Frank Audemard por la motivación para la realización de este estudio.
- ❖ Aldo Cataldi por la disposición de los equipos de medición electromagnética para la realización de este trabajo.
- ❖ A todos los panas que estuvieron compartiendo mi carrera en especial a Ricardo, José Ignacio, José Enrique, Josef , Rafael y el compañero de adquisición Pedro Camacho.
- ❖ Un especial agradecimiento a todos los profesores que me han transmitido sus conocimientos académicos y humanos a lo largo de todos mis estudios.

## RESUMEN

La formación de cuencas sedimentarias en la región centro-norte de Venezuela ha recibido una atención especial en los últimos años por su formación a lo largo de grandes zonas de fallas. Dentro de estas cuencas se encuentran el Valle de La Victoria (Edo. Aragua) y los Valles de Tuy Medio en Santa Lucía (Edo. Miranda). Los cuales resultan de gran interés geofísico en la búsqueda de identificación de fallas selladas o parcialmente selladas por sedimentos y su relación con la geología presente en la zona.

Surge entonces la necesidad de un estudio Geofísico en estas cuencas a partir de diferentes métodos de prospección que permitan una identificación de las fallas a través de diversas herramientas, colaborando con estudios posteriores como la Paleosismología.

La primera zona de estudio, La Victoria (Edo. Aragua) caracterizada por la falla de La Victoria y las deformaciones que esta implica al sur de la misma ubicando a la Hda. La Quebradita y sus alrededores como la ventana de prospección geofísica. En esta zona se utilizó la prospección magnética, y la prospección electromagnética de muy baja frecuencia (VLF) para localizar las anomalías resaltantes. Una vez ubicadas las fallas solapando estas dos respuestas (magnética y electromagnética) se procedió al levantamiento de perfiles de reflexión y refracción sísmica, magnetismo, herramientas electromagnéticas (EM-34), describiendo así desde el punto de vista geofísico la fallas a identificar integrando también la geología estructural y la litología presente.

La segunda ventana de estudio caracterizada por divergencia de fallas con desplazamiento rumbo deslizante dextral, presentó el estudio relacionado a la identificación de fallas en el basamento a partir de la herramienta electromagnética de baja frecuencia.

En las zonas de Santa Lucía (valle) se identifica con claridad la discontinuidad entre dos bloques (norte y sur) por una falla normal de dirección SE, se recomienda una prospección magnética para definir mejor el comportamiento de la falla.

La falla de Victoria con rumbo deslizante dextral y una componente normal ya cartografiada por estudios de superficie se vió identificada por las anomalías magnéticas y se observó un sistema de fallas más complejo evidenciado a simple vista por dos levantamientos montañosos alineados en una misma dirección (paralelos a la falla principal).

La sísmica de reflexión somera aplicada presenta problemas en la resolución de datos debido a la baja energía de fuente aplicada (calibre 12) se recomienda como fuente de energía la mandarina o mayor calibre de carga.

A partir de la herramienta de prospección electromagnética EM-34, se observa claramente la presencia de un contraste de conductividades que aumenta vertiginosamente en las zonas de anomalías a profundidades 10 m aproximadamente, evidenciando el levantamiento del basamento fallado. De acuerdo a las velocidades calculadas a partir de los tiempos de llegada de la llegada de la onda S se estimaron valores promedios de 350 m/s para la primera capa y 700 m/s para la segunda lo que indica la presencia de sedimentos de grano medio y fino que no han sido totalmente compactados

Todas la herramientas geofísicas respondieron de manera satisfactoria a la identificación de fallas a excepción de la sísmica de reflexión.

## ÍNDICE

Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Resumen.....	v
Índice.....	vi
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tablas.....	xi

### **CAPÍTULO 1**

1.1 Introducción.....	1
1.2 Ubicación.....	2
1.3 Antecedentes.....	5
1.4 Objetivos	
1.4.1 Generales.....	6
1.4.2 Específicos.....	6

### **CAPÍTULO 2 (Geología Estructural y Litología)**

2.1 Marco Geológico	
2.1.1 La Victoria.....	7
• Geología Estructural.....	7
• Descripción Litológica del subsuelo.....	8
2.1.2 Santa Lucía.....	11
• Geología Estructural.....	11
• Descripción Litológica del subsuelo.....	12

### **CAPÍTULO 3 (Principios teóricos, instrumentación y Metodología)**

3.1 Magnetismo	
3.1.1 Base Teórica.....	14
3.1.2 Instrumentación.....	19
3.1.3 Metodología de Adquisición.....	19
3.1.4 Metodología de Procesamiento.....	20
3.2 Electromagnetismo en el dominio de la frecuencia (EM-34)	
3.2.1 Base Teórica.....	22
3.2.2 Instrumentación.....	24
3.2.3 Metodología de Adquisición.....	26
3.2.4 Metodología de Procesamiento.....	27
3.3 Electromagnetismo VLF (Muy baja frecuencia)	
3.3.1 Base Teórica.....	27

3.3.2 Instrumentación.....	29
3.3.3 Metodología de Adquisición.....	31
3.3.4 Metodología de Procesamiento.....	33
<b>3.4 Sísmica de Reflexión</b>	
3.4.1 Base Teórica.....	35
3.4.2 Instrumentación.....	39
3.4.3 Metodología de Adquisición.....	40
3.4.4 Metodología de Procesamiento.....	42
<b>3.5 Sísmica de Refracción</b>	
3.5.1 Base Teórica.....	46
3.5.2 Instrumentación.....	50
3.5.3 Metodología de Adquisición.....	51
3.5.4 Metodología de Procesamiento.....	52
<b>CAPITULO 4</b>	
4.1 Resultados y análisis de la prospección Magnética.....	53
4.2 Resultados y análisis de la prospección de Electromagnética en el dominio de la frecuencia (EM-34) .....	56
4.3 Resultados y análisis de la prospección de Electromagnética de muy baja frecuencia (VLF).....	58
4.4 Resultados y análisis de la prospección a partir de la Sísmica de Reflexión.....	63
4.5 Resultados y análisis de la prospección a partir de la Sísmica de Refracción.....	65
<b>CAPITULO 5</b>	
5.1 Análisis Integrado a partir de la diferentes metodologías de prospección aplicadas.....	67
<b>6. Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>72</b>
<b>7. Bibliografía y Referencias citadas.....</b>	<b>74</b>

## LISTA DE FIGURAS

• Figura 1.2.a, Ubicación relativa de el valle Santa Lucía y La Victoria.....	2
• Figura 1.2.b, Ortofotomapa 6746-IV-SE escala 1:25000 (Edo. Aragua).....	3
• Figura 1.2.c, Ortofotomapa 6846-I-NO escala 1:25000 (Edo. Miranda).....	4
• Figura 2.1.1, Imagen de Radar de la Zona Central de las Montañas del Caribe, señalamiento de la falla de Santa Rosa, Falla de Tácata, Falla de La Victoria.....	8
• Figura 2.1.2.a, Zonas de Falla en la Victoria y Santa Lucia, con puntos de sismicidad.....	11
• Figura 2.1.2.b. Sección transversal al Noreste del Basamento del Río Tuy .....	13
• Figura 3.1.3.a, Ubicación de los perfiles magnéticos. Valle de La Victoria (Edo. Aragua).....	18
• Figura 3.1.3.b, Variación Diurna Magnética en la zona de La Victoria (Edo. Aragua) .....	19
• Figura 3.2.1.a, Representación de tubo conductivo (o cable de corriente) enterrado en el subsuelo en un dipolo alternante de campo magnético.....	23
• Figura 3.2.1.b, Modelo simplificado de inducción con conductor infinito extendido en el subsuelo de forma horizontal.....	23
• Figura 3.2.2 Equipo de electromagnético EM-34.....	24
• Figura 3.2.3, Ubicación de perfil “A” EM-34. Valle de La Victoria (Edo. Aragua).....	25
• Figura 3.3.1.a, Esquema de adquisición y funcionamiento del método VLF.....	27
• Figura 3.3.1.b, Campo primario y secundario expresado en forma elíptica según un cuerpo cualquiera inmerso en el subsuelo (relación los ejes principales).....	28
• Figura 3.3.2 Equipo de VLF EM-16.....	29
• Figura 3.3.3.a, Ubicación de tendidos VLF. Valle de La Victoria (Edo. Aragua)..	31
• Figura 3.3.3.b, Ubicación de tendidos VLF. Valle de Sta. Lucía (Edo. Miranda)..	32
• Figura 3.3.4.a, Comportamiento en fase y cuadratura del campo magnético secundario registrado por el método electromagnético de baja frecuencia (VLF), tomando como ejemplo el perfil VLF –A en la zona de La Victoria.....	33
• Figura 3.3.4.b, Comportamiento de fase filtrada (PHRASER FILTER) del campo magnético secundario registrado por el método electromagnético de baja frecuencia (VLF), tomando como ejemplo el perfil VLF –A en la zona de La Victoria.....	34
• Figura 3.4.1.a, Caso más simple de reflexión en una discontinuidad acústica....	36
• Figura 3.4.1.b. Reflexión y refracción de rayos en un modelo de tres capas con diferentes propiedades acústicas.....	37
• Figura 3.4.1.c. Ejemplo de disparo sísmico de reflexión.....	37
• Figura 3.4.1.d. Esquema de rayos reflejados en la interfase de dos medios. 6 canales de entrada.....	38
• Figura 3.4.1.e, Ilustración del concepto de CMP.y CRP. “Common-Depth-Point” y “Common–Reflexión-Point” respectivamente. ....	39
• Figura 3.4.3, Esquema de adquisición para la sísmica de reflexión somera .....	40

- Figura 3.4.4.a, Ejemplo de disparo sin procesar del perfil A, La Victoria (Edo. Aragua)..... 42
- Figura 3.4.4.b, Parte de los datos sísmicos procesados antes de apilar después de haber desarrollado la primera etapa de procesamiento. Perfil A, en el valle de La Victoria (Edo. Aragua)..... 43.
- Figura 3.4.4.c, Parte de los datos sísmicos procesados apilados hasta los 300 m de perfil, se procede con la segunda etapa de procesamiento Perfil A, en el valle de La Victoria (Edo. Aragua)..... 44
- Figura 3.4.4.d, Parte de los datos sísmicos procesados en su totalidad hasta los 300 m. Perfil A, La Victoria (Edo. Aragua)..... 45
- Figura 3.5.1.a. Sección transversal del caso ideal para dos capas críticamente y el camino rayo refractado..... 48
- Figura 3.5.1.b. Trayectoria de rayos refractados críticamente para el modelo simple de una interfase a lo largo de la discontinuidad..... 48
- Figura 3.5.1.c. Trayectoria de rayos refractados críticamente para el modelo de 4 capas..... 49
- Figura 3.5.1.d, Relación de tiempos de llegada entre la onda directa y la refractada, grafica Tiempo de llegada vs. Separación Fuente-Receptor..... 49
  
- Figura 3.4.3, Esquema de adquisición para la sísmica de reflexión somera ..... 51
- Figura 3.5.4., Ala sur de disparo sísmico posicionada a 191 m. refracción de onda S según seguimiento de “Picks” previamente seleccionados, La Victoria (Edo. Aragua)..... 52
- Figura 4.1.1, Mapa de intensidad magnética total en el Valle de la Victoria..... 53
- Figura 4.1.2, Mapa de anomalía magnética con corrección por reducción al polo aplicada en el Valle de la Victoria..... 54
- Figura 4.1.3 Perfiles “A” y “B” de acuerdo a derivada vertical e intensidad magnética total de las anomalías calculadas en el valle de La Victoria..... 55
- Figura 4.2.1 Resultado del método electromagnético en el dominio de la frecuencia (EM-34). Dipolo horizontal y vertical, para el perfil A situado en el valle de la Victoria..... 56
- Figura 4.3.1.a Comportamiento en fase y cuadratura y filtro de fase del campo electromagnético registrado para el perfil A situado en el valle de la Victoria... 58
- Figura 4.3.1.b Comportamiento en fase y cuadratura y filtro de fase del campo electromagnético registrado para el perfil B situado en el valle de la Victoria.... 59
- Figura 4.3.1.c Comportamiento de la fase filtrada (VLF) ubicada directamente sobre el mapa, para la identificación de las fallas sobre el valle de la Victoria... 60
- Figura 4.3.2 Comportamiento en fase y cuadratura y filtro de fase del campo electromagnético registrado para los perfiles 1, 2 y 3 situado en el valle de Santa Lucía, Graficados directamente sobre la ventana de estudio. .... 61

- Figura 4.4.1 Resultado de la sísmica de reflexión procesada en tres segmentos bajo el programa de REFLEXW versión 3, para el perfil A (sísmico) situado en el valle de la Victoria. En tres segmentos separados de procesamiento 1, 2 y 3..... 63
- Figura 4.5.1 Resultado del FOWARD MODELING para sísmica de refracción procesado mediante el trazado de rayos en el programa RAYINVR, en el valle de la Victoria..... 65
- Figura 5.1, Ubicación de los perfiles adquiridos por las diferentes herramientas geofísicas. Zona de La Victoria (Edo. Aragua)..... 67
- Figura 5.2 Perfil “B” situado en el valle de la Victoria, resultados de Intensidad Mag. Total, repuesta del campo electromagnético en fase y cuadratura de VLF , respuesta de fase filtrada de VLF (integrados)..... 68
- Figura 5.3.1 Perfil “A” situado en el valle de la Victoria, resultados de Intensidad Mag. Total, repuesta del campo electromagnético en fase y cuadratura de VLF, respuesta de fase filtrada de VLF (integrados)..... 69
- Figura 5.3.2 Perfil “A” situado en el valle de la Victoria, resultado del la prospección electromagnética a partir del equipo EM-34, resultado de la sísmica de refracción, sísmica de reflexión procesada (integrados)..... 70
- Figura 5.4, Fallas interpretadas a partir de la integración de cada una de las herramientas geofísicas aplicada, en el valle de La Victoria (Edo. Aragua)..... 71

## LISTA DE TABLAS

- Figura 3.1.4, Datos pertenecientes al perfil # 12 según la prospección Magnética en la zona de La Victoria Edo. Aragua..... 20
- Tabla 3.2.2 Características técnicas de EM-34 (electromagnético)..... 24
- Tabla 3.2.4, Alcance de Dipolo Vertical y Horizontal según separaciones entre bobinas de 10 y 20 m..... 26
- Tabla 3.3.2 Características Generales de EM-16 (VLF)..... 30
- Tabla 3.3.4, Ejemplo de aplicación de filtro PHRASER FILTER..... 33
- Tabla 4.5.1 Velocidades S (tope y base) y espesor de la primera capa obtenido a los largo del perfil de sísmica de refracción, perfil “A” (sísmico) situado en el valle de la Victoria..... 66

## 1.1 INTRODUCCIÓN

La formación de cuencas sedimentarias en la región centro-norte de Venezuela ha recibido una atención especial en los últimos años por su formación a lo largo de grandes zonas de fallas. Entre los lugares más comunes de estudio por su carácter formador de cuencas a partir de fallas rumbo deslizante, se destacan los saltos laterales en echelón y los lugares de divergencia de fallas con desplazamiento rumbo deslizante dextral (Schubert, 1986).

Según Audemard, 1995. Las estructuras romboédricas dispuestas en echelón generan un modelo tectónico de tracción compuesta (Pull–Apart) con repercusiones en la cuenca de Tuy Medio caracterizada según la geomorfología como una zona de hundimiento.

Sabiendo que la actividad sísmica registrada en los últimos años ha clasificado esta falla como el segundo accidente estructural con mayor potencial sismogénico para la región norcentral del país, siendo el primero la falla de San Sebastián (Audemard, 1995) aunado a la complejidad estructural de estas zonas, surge entonces la necesidad de un estudio Geofísico en estas cuencas a partir de diferentes métodos de prospección que permitan una identificación y caracterización de las fallas selladas o parcialmente selladas por sedimentos.

Para tal fin se han identificado entonces como primera zona de estudio La Victoria (Edo. Aragua) caracterizada por la falla de La Victoria y las deformaciones que esta implica al sur de la misma ubicando a la Hda. La Quebradita y sus alrededores como la ventana de prospección geofísica. En esta zona se pretende utilizar como primera fase del estudio la prospección magnética para ubicar las fallas según los saltos de diferentes bloques de basamentos que caracterizan el sistema de fallas y la prospección electromagnética de muy baja frecuencia (VLF) que permitirá de igual modo correlacionar e identificar las fallas presentes en el subsuelo.

Una vez ubicadas las fallas solapando estas dos respuestas (magnética y electromagnética) se procederá entonces a su caracterización de acuerdo a perfiles de reflexión y refracción sísmica, magnetismo, herramientas electromagnéticas (EM-34), describiendo así desde el punto de vista geofísico la fallas a identificar integrando también la geología estructural y la litología presente.

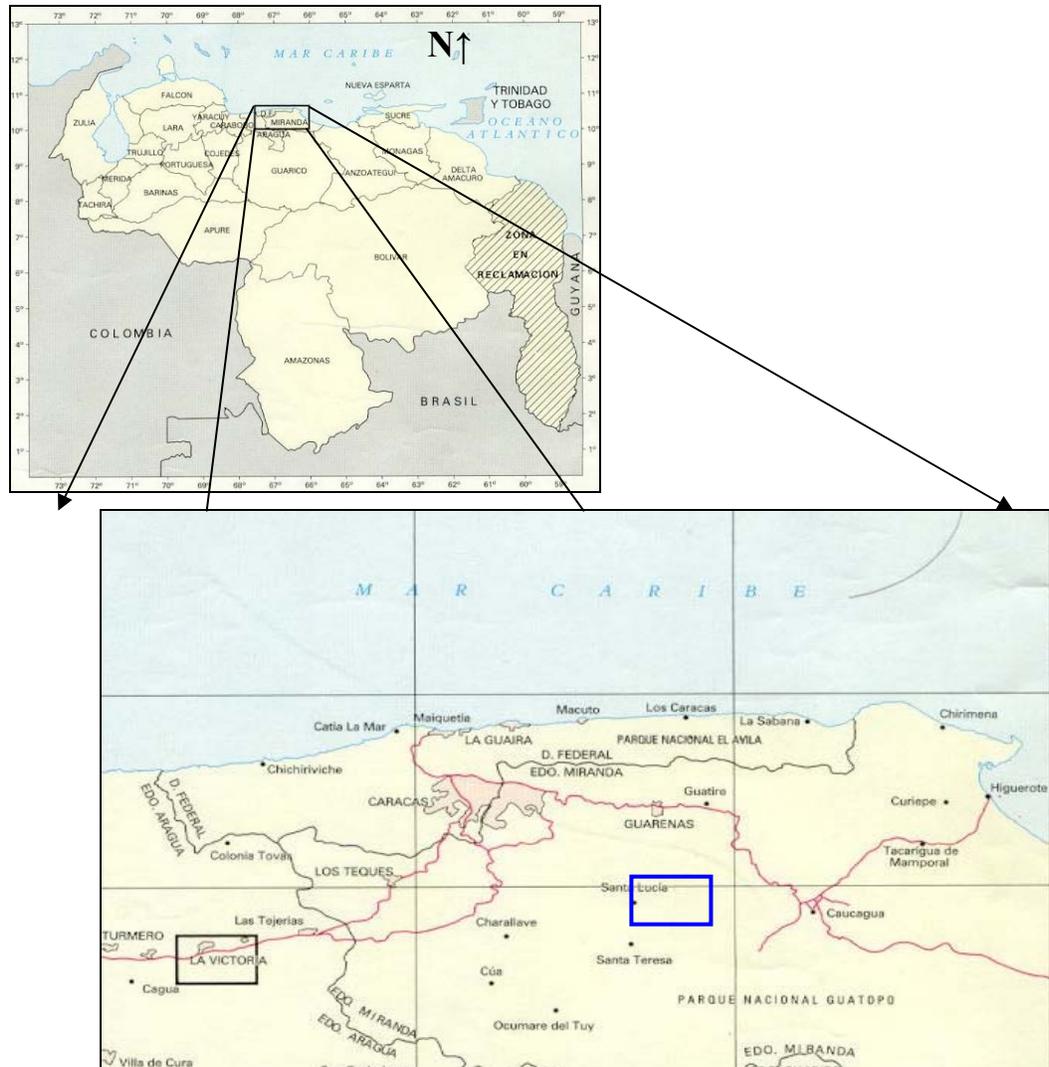
La segunda ventana de estudio está caracterizada por divergencia de fallas con desplazamiento rumbo deslizante dextral y aunque no menos importante sólo se realizó el estudio de prospección relacionado a la herramienta electromagnética de baja frecuencia (VLF) que nos permitan identificar las zonas de fallas.

Es de vital importancia integrar la información geológica y geofísica con el fin de reducir a menor grado la incertidumbre existente en la zona permitiendo así el mejor reconocimiento de la zona al ubicar y caracterizar las fallas selladas o parcialmente sellada por sedimentos a partir de los métodos geofísicos, así como dar pie ha estudios posteriores con más detalle como la Paleosismología.

## 1.2 UBICACIÓN

La realización de este proyecto contempla dos zonas de prospección a delimitar de acuerdo a su posición relativa en Venezuela y el sistema de coordenadas asociado en la ventana de estudio (**Figura 1.2.a**)

**Ubicación Relativa de las zonas de estudio según mapa de los Estados de Venezuela.**

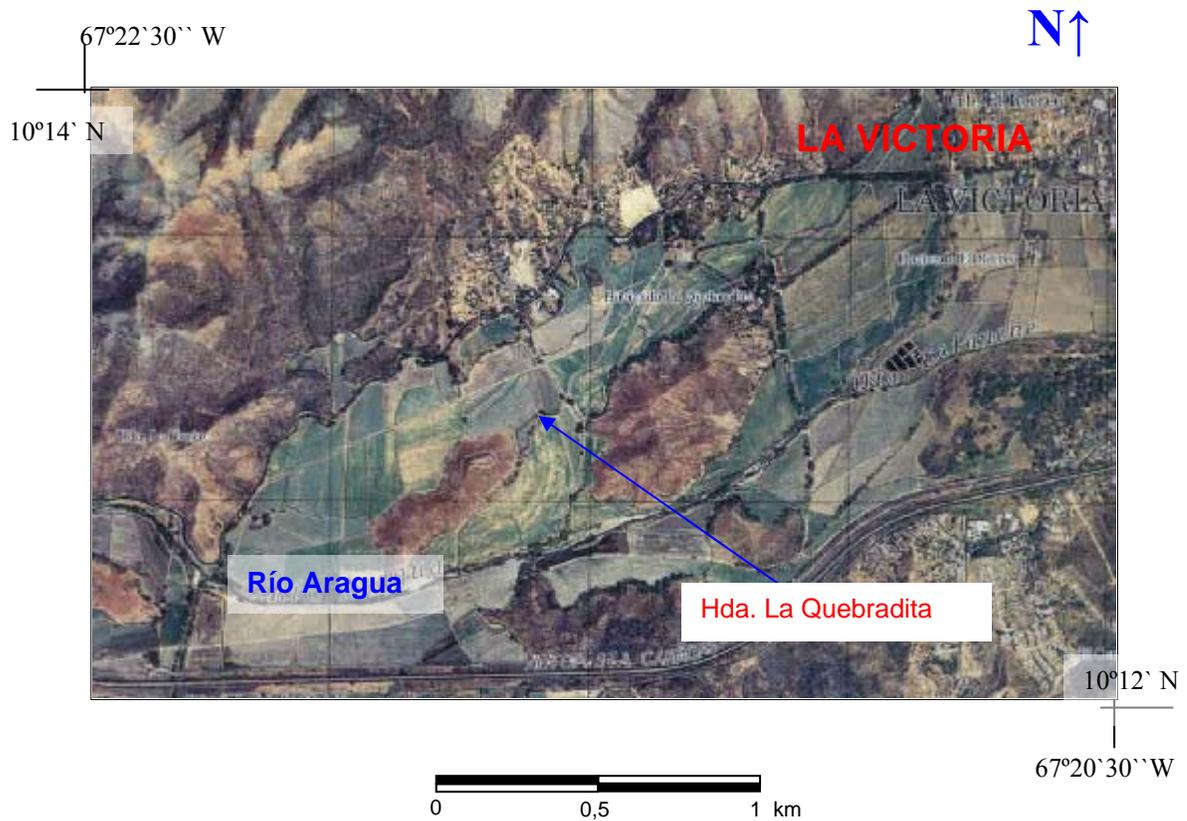


**Figura 1.2.a, Ubicación de Santa Lucía (marco azul) y La Victoria (marco negro)**

## Ubicación Geográfica

- **Zona de LA VICTORIA**

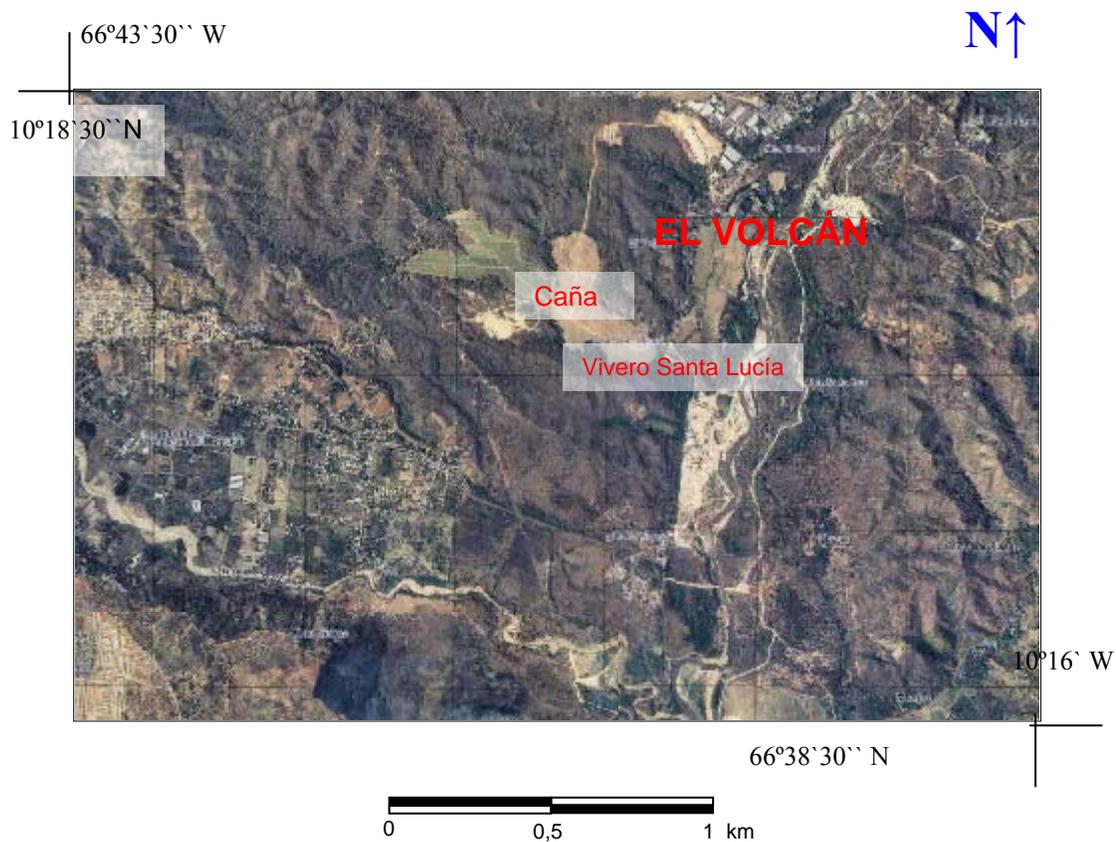
Esta zona se encuentra posicionada al Noreste del estado Aragua y contempla dos subdivisiones para la realización de la prospección geofísica (**Figura 1.2.b**)



**Figura 1.2.b, Tomada del ortofotomapa 6746-IV-SE escala 1:25000 (Edo. Aragua), se pueden apreciar las población de La y El Río Aragua como puntos referenciales.**

## Zona de SANTA LUCÍA

Esta zona se encuentra posicionada en la parte central del estado Miranda y contempla la siguiente ventana de estudio delimitada por coordenadas para la realización de la prospección geofísica (**Figura 1.2.c**).



**Figura 1.2.c**, Tomada del ortofotomapa 6846-I-NO escala 1:25000 (Edo. Miranda), se pueden apreciar la Arenera de El Volcán y el Vivero de Santa Lucía como puntos referenciales.

### 1.3 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En las zonas delimitadas de Santa Lucía y La Victoria existen una serie de estudios previos geológicos que comprenden identificación de sistemas de falla y litología a partir de la geología de superficie (Audemard, 1984, 1985 y 1990; Audemard et al. 1995; Beck, 1980 y 1986; Dengo, 1951; Ostos, 1990; Schubert, 1986; Smith, 1953; Urbani et. al. 1989 y 2000, Wehrmann, 1972; Wolcott, 1943).

La zona de estudio de la Victoria presenta una actividad neotectónica caracterizada rasgos evidentes de deformación geomorfológica, medidos principalmente en la zonas de falla de La Victoria y las fallas de Tácata y Santa Rosa sugiriendo un desplazamiento principalmente rumbo deslizante hacia la derecha (falla transcurrente dextral). El origen de las cuencas sedimentarias a lo largo de la zona de falla de La Victoria se atribuye a 5 trazas dispuestas en echelón (Cuenca del Lago de Valencia) o divergencia de fallas ( cuenca de Santa Lucía – Ocumare del Tuy, entre la zona de falla de La Victoria y la cuenca de Tácata) (Schubert, 1986).

Las estructuras romboédricas dispuestas en echelón generan un modelo tectónico de tracción compuesta (Pull – Apart) con repercusiones en la cuenca de Tuy Medio (Audemard, 1995).

La columna estratigráfica del Valle de La Victoria presenta el Complejo Basal Sebastopol (Granito-Paleozoico) como un basamento de la secuencia de las Rocas Metamórficas del Grupo Caracas “Gneis de Sebastopol” (Beck, 1986), suprayacente Formación de Las Brisas (Esquisto de Asociación Metasedimentaria Caracas) esta caracterizadas por un esquisto cuarzo – moscovítico, frecuentemente conglomerático (Smith, 1953). Por último Las Mercedes (Esquisto de Asociación Metasedientaria Caracas) presenta una litología típica de filita o esquisto granítico calcáreo (el carácter calcáreo no siempre esta presente), con calizas en capas delgadas y raras veces masivas. (Dengo, 1953).

La zona de Santa Lucía esta caracterizada por un basamento metamórfico mesozoico con una secuencia fluvio – lacustre del Terciario tardío, dividida en tres unidades de la base al tope, la Formación Siquire (Mioceno Inferior a Medio) compuesta por areniscas líticas y limolíticas, intercaladas con lutitas laminadas, conglomerados y algunas calizas y margas (Schubert, 1986), la Formación Tuy ( Mioceno Superior a Plioceno) prsenta gravas y conglomerados poco consolidados, intercalados con margas, arcillas y limos, suprayace discordante a la formación Siquire, su ambiente deposicional es fluvio-lacustre, con facies terrestres (Miembro Pichao)con litología predominante de metamórficos cementados por calcitas (Schubert, 1986), por último las Terrazas Aluviales (Cuaternario) depositada sobre estas formaciones se caracteriza por la presencia de una pobre estratificación de relleno sedimentario (Schubert, 1986).

Estos antecedentes presentan la base para la integración y complemento para la prospección Geofísica.

## **1.4 OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Identificar fallas en zonas selladas por sedimentos a partir de los métodos geofísicos de prospección en La Victoria y Santa Lucía.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Adquisición de los datos geofísicos y mediciones en las zonas de estudio.
2. Procesamiento y análisis de los datos.
3. Integración de los datos existentes e identificación de los perfiles
4. Relación de respuesta ante las anomalías presentes en cada método.
5. Análisis, interpretación e integración de los registros y geología de la zona.
6. Evaluación de la utilidad de los diferentes métodos geofísicos en la identificación de las fallas escondidas.

## 2.1 MARCO GEOLÓGICO

### 2.1.1 LA VICTORIA

- **Geología Estructural (La Victoria)**

En La zona de la falla de La Victoria existen indicios claros de actividad neotectónica caracterizada por rasgos geomorfológicos, como las colinas desplazadas, deformaciones frágiles en los depósitos cuaternarios (región de Tocuyito), aspectos rectilíneos de los Valles de Aragua, lomos de falla, contrastes litológicos a través, drenajes alineados y desplazados, depresiones tectónicas cerradas y a veces lagunas de falla, escarpas y escalones de fallas, facetas triangulares, planos de falla estriados, sillas y trincheras de falla y terrazas aluviales.

El desplazamiento de estos rasgos, medidos principalmente en la zonas de falla de La Victoria y las fallas de Táchata y Santa Rosa, sugieren un desplazamiento principalmente rumbo deslizante hacia la derecha (falla transcurrente dextral) durante el cuaternario, con valores que oscilan entre varios metros y miles de metros, dependiendo de la edad del rasgo. El origen de las cuencas sedimentarias a lo largo de la zona de falla de La Victoria se atribuye a 5 trazas dispuestas en echelón (Cuenca del Lago de Valencia) o divergencia de fallas (cuenca de Santa Lucía – Ocumare del Tuy, entre la zona de falla de La Victoria y la cuenca de Táchata) (Schubert, 1986).

Las estructuras romboédricas dispuestas en echelón generan un modelo tectónico de tracción compuesta (Pull – Apart) con repercusiones en la cuenca de Tuy Medio. Cabe destacar que este sistema de falla de La Victoria se extiende en unos 350 Km desde Tinaquillo (Estado Cojedes) hasta Cabo Codera (estado Miranda) con rumbo WSW-ENE, donde converge en el mar con la falla de San Sebastián (figura 2.1.1). La actividad sísmica registrada en los últimos años ha clasificado esta falla como el segundo accidente estructural con mayor potencial sismogénico para la región norcentral del país, siendo el primero la falla de San Sebastián (Audemard, 1995).

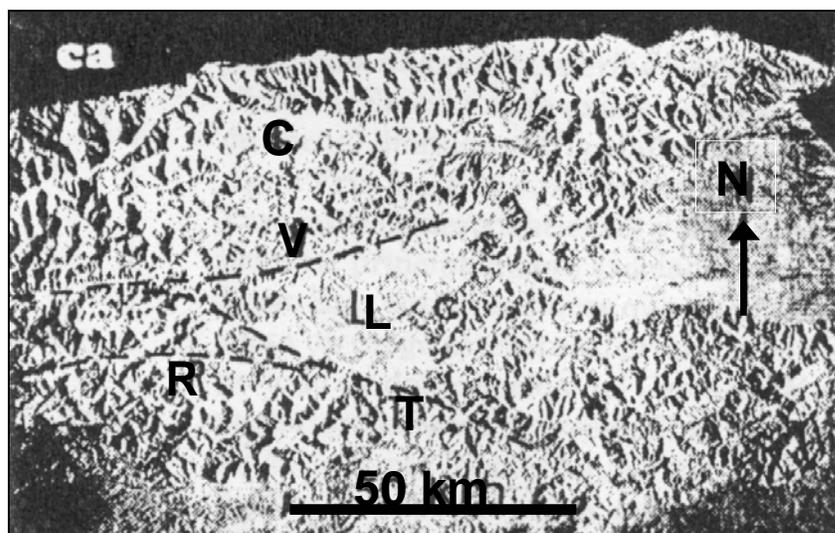


Figura 2.1.1, Imagen de Radar de la Zona Central de las Montañas del Caribe (Schubert, 1986). Símbolos: C: Caracas; ca: Mar Caribe; L: cuenca de Santa Lucía – Ocumare del Tuy; R: falla de Santa Rosa; T: Falla de Táchata; V: Zona de Falla de La Victoria.

- **Descripción Litológica del Subsuelo (La Victoria)**

Esta descripción de la secuencia estratigráfica se muestra de base a tope destacando aspectos principales como contactos, ubicación y litología.

### **Complejo Basal Sebastopol (Granito-Paleozoico)**

Este complejo está descrito como un basamento de la secuencia de las Rocas Metamórficas del Grupo Caracas. Beck (1986) lo denomina “Gneis de Sebastopol”, nombre adecuado para esta unidad que posee una litología bastante homogénea.

Dengo (1951) lo describe como un Gneis de grano fino fuertemente foliado, compuesto de cuarzo, ortosa, microclino, plagioclasa, moscovita y biotita, localmente es de grano mas grueso con una estructura de Gneis granítico.

Wehrmann (1972) lo describe como meteorizado de color blanquecino característico producido por la transformación de feldespatos y cuarzo. Hacia los bordes del cuerpo se desarrolla foliación hasta formar un Gneis de color verdoso por la presencia de clorita, finamente bandeado, que puede llegar a determinar intercalaciones con esquistos clorítico y filita clorítica.

### **Grupo Caracas (Asociación meta-sedimentarias)**

Su localidad no se ha establecido formalmente pero en formas generales corresponde a la zona de Caracas, en cuyos alrededores se están las localidades típicas

de sus unidades mayoritarias: Las Brisas y Las Mercedes, presentando un contacto tectónico entre si (Urbani et al, 1989).

Esta asociación aflora típicamente en la región de Caracas – Los Teques y sus alrededores, y se ha cartografiado como una franja casi continua en sentido este – oeste que se extiende desde el estado Yaracuy, hasta la zona de Barlovento en el estado Miranda. Sus unidades constituyen una franja predominante en la Cordillera de la Costa.

El Esquisto de las Brisas presenta una edad Jurásico Tardío – Cretácico, mientras que los Esquistos de Las Mercedes y Chuspita (contacto concordante y transicional) generalmente se han considerado como de edad Cretácico, por lo tanto la Asociación en su totalidad se define en una edad Jurásico – Cretácico ( Wolcott 1943).

Dengo (1953) identificaron el Gneis granítico de Sebastopol como un basamento situado por debajo del grupo Caracas

### **Las Brisas (Esquisto de Asociación Metasedimentaria Caracas)**

Esta asociación es típicamente un esquisto cuarzo – moscovítico, frecuentemente conglomerático. Esta última facie, por lo general, contiene Guijarros diseminados en una pasta esquistosa (Smith, 1953). Estos Guijarros son granito, roca cuarzo albítica de grano grueso con textura granítica, cuarcita y cuarzo de veta. Estos conglomerados presentan un metamorfismo evidente.

Según Dengo (1951) el tamo inferior tendría 200 m de espesor, mientras que el superior de 400 a 900 m. Hay que hacer notar que los espesores que han sido expresados para las unidades metamórficas de la Cordillera de la Costa, muchas veces muestran intenso plegamiento isoclinal, son simplemente cifras referenciales sin significado estratigráfico y han sido estimado tomando a la foliación a nivel regional como plano de referencia.

De acuerdo a sus contactos la opinión generalizada es que el contacto de esta unidad con los Gneis de Sebastopol es discordante, sus afloramiento presentan una fuerte meteorización. Su extensión geográfica va a lo largo del macizo central de la cordillera de la costa, entre cabo Codera y el estado Yaracuy.

La relación con los Esquistos Las Mercedes es de ha sido considerada como concordante y/o transicional por Dengo (1951) Wherman (1972), pero los autores más recientes han identificado estos contactos como de fallas de corrimiento mostrando concordancia estructural (e. g. Urbani et al, 1989b; Ostos, 1990b)

### **Las Mercedes (Esquisto de Asociación Metasedimentaria Caracas)**

Anteriormente llamada Formación Las Mercedes por autores como Dengo y Smith (1953) entre otros. En la actualidad se identifica como esquistos Mercedes según la proposición de Urbani 2000).

Presenta una litología típica de filita o esquisto granítico calcáreo (el carácter calcáreo no siempre esta presente), con calizas en capas delgadas y raras veces masivas. El miembro conglomerático de Charallave constituye un horizonte muy característico cerca de la parte superior de los esquistos Las Mercedes. Los guijarros están totalmente constituidos por cuarzo redondeado; en su mayor parte son de color translúcido y cuarzo ahumado (Dengo, 1953)

Estos esquistos afloran en una extensa franja fundamentalmente al sur de la Fila Maestra de la cordillera de la costa, entre carenero estado Miranda hasta el estado Cojedes (Urbani y Ostos 1989)

Estos esquistos en contacto de corrimiento con Las Brisas (subyacente) presenta en su parte superior el miembro Los Naranjos de la Formación Tucutunemo caracterizado por su vulcanismo, estas lavas son generalmente de color verde claro granado a verde azulado más oscuro en las rocas afaníticas. En algunas zonas se observa foliación ligeramente metamórfica.

## 2.1.2 SANTA LUCÍA

### • Geología Estructural

La cuenca de Santa Lucía – Ocumare del Tuy probablemente comenzó a formarse por hundimiento (depresión tectónica neógena) en esta zona de divergencia desde el Mioceno con por lo menos dos periodos de hundimiento separados por un periodo de tectonismo y erosión durante el Mioceno tardío Plioceno. Está ubicada dentro del complejo de napas metamórficas cretácicas de la región norcentral de Venezuela, por lo que ha registrado parcialmente la progresión hacia el este de la placa Caribe a lo largo del Norte de Venezuela esta depresión en forma de graben (recientemente relleno en el neógeno y cuaternario) pertenece a un grupo de depresiones de intramontaña con la misma ubicación relativa que el complejo de napas (de oeste a este: Nirgua, Miranda, Bejuma, Lago de Valencia, Tuy, Cuenca de Barlovento, Plataforma de Unare y Golfos de Cariaco y Paria). Esto sugiere que la formación de esta cuenca debe responder a un proceso más regional. Este colapso orogénico tiene que estar vinculado necesariamente al cambio geodinámico mayor registrado a lo largo de todo el norte de Venezuela ocurrido hace 17-15 Ma (cuando se activó la transcurrancia dextral mayor) (Audemard, 1999).

Este graben datado del Plioceno posee una relación de distensión NNW-SSE y fallamiento normal mayormente WSW-ENE terminando así el Plioceno, consecutivamente en el Pleistoceno aparece la segunda etapa de compresión ya nombrada NW-SE que produjo el fallamiento transcurrente (figura 2.1.2.a) NNW-SSE y WNW-ESE (Beck, 1980).

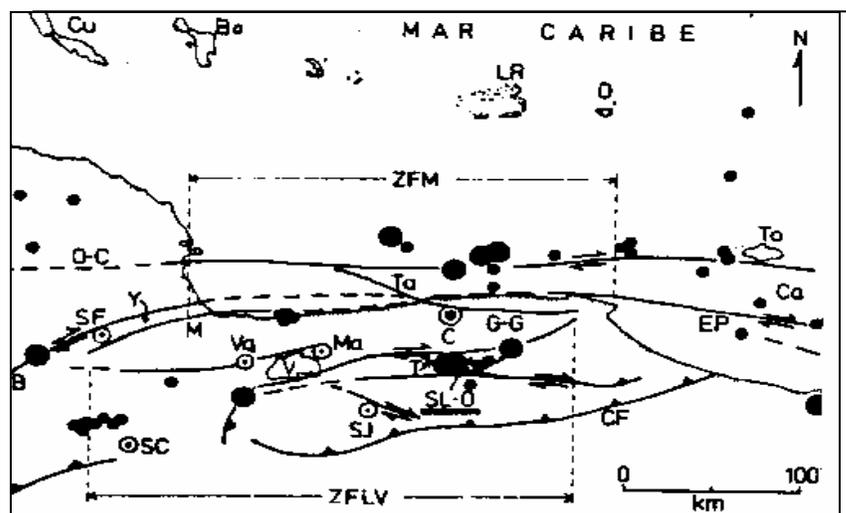


Figura 2.1.2.a, Zonas de Falla en la Victoria y Santa Lucía (Schubert 1986). C: Caracas; ZFLV: Zona de Falla de La Victoria; SL-O: Cuenca de Santa Lucía Ocumare. Los círculos negros representan puntos de sismicidad.

- **Descripción Litológica del subsuelo (Santa Lucía)**

Sobre el basamento metamórfico mesozoico se depositó una secuencia fluvio – lacustre del Terciario tardío, dividida en tres unidades de la base al tope:

**Formación Siquire (Mioceno Inferior a Medio)**

Consiste en areniscas líticas y limolíticas, intercaladas con lutitas laminadas, conglomerados y algunas calizas y margas. Se encuentra en capas con buzamiento alto casi vertical, cortadas por numerosas fallas normales pequeñas, probablemente debidas a compactación. El espesor aproximado de esta formación es de 250 m; su ambiente deposicional es lacustre con quietud intermitente (Schubert, 1986).

**Formación Tuy ( Mioceno Superior a Plioceno)**

Consiste en gravas y conglomerados poco consolidados, intercalados con margas, arcillas y limos; los buzamientos son suaves y en general orientados hacia el centro de la cuenca, presenta un espesor medio de 350 m, suprayace discordante a la formación Siquire, su ambiente deposicional es fluvio-lacustre, con facies terrestres (Miembro Pichao). (Schubert, 1986)

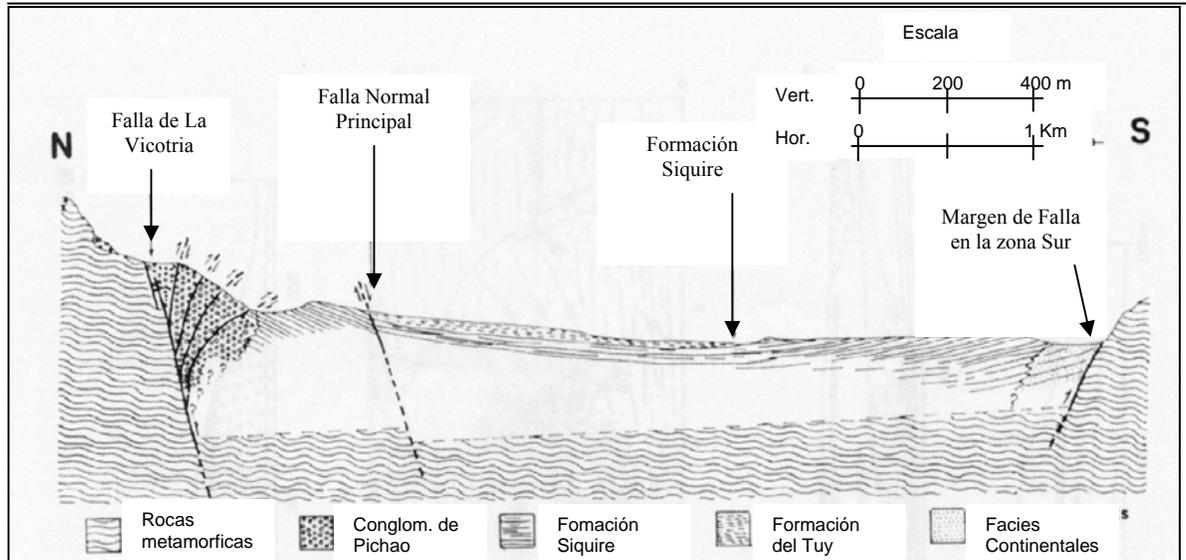
**Miembro Pichao**

Con un espesor aproximado de 60 m consiste en cantos metamórficos cementados por calcitas que afloran en el extremo norte de la cuenca, asociado con movimiento a lo largo de la zona de la falla de La Victoria. (Schubert, 1986)

**Terrazas Aluviales (Cuaternario)**

Cubren discordantemente a la Formación del Tuy, son heterogéneas y presentan una pobre estratificación. Dentro de estos sedimentos del Cuaternario se conocen por lo menos 2 generaciones, las más antiguas de terrazas levantadas y con planos inclinados y una más joven de casi nula deformación con planos horizontales. La mayoría de las deformaciones del relleno sedimentario están localizadas cerca de los bordes de la cuenca. (Schubert, 1986)

De acuerdo a esta a la descripción geológica del subsuelo se presenta el perfil cortical tomando la falla de La Victoria como punto referencia (figura 2.1.2.b).



**Figura 2.1.2.b. Sección transversal al Noreste del Basamento del Río Tuy (Audemard, 1985).**

## 3.1 MAGNETISMO

### 3.1.1 Base Teórica

En términos generales podemos considerar la tierra como un imán natural y generador de campos magnéticos terrestres, esta magnética determina las variaciones del campo magnético terrestre atribuidos a cambios de estructuras (ubicación, forma, volumen y orientación) y de la susceptibilidad magnética de algunas rocas próximas a la superficie, en este caso la prospección magnética permite al investigador inferir la distribución espacial de estas variaciones en el subsuelo.

El método magnético permite identificar anomalías causadas por cambios en las propiedades físicas de las rocas subyacentes, tales como la susceptibilidad magnética y la magnetización permanente de las mismas. Este método también permite determinar el espesor de los tramos sedimentarios y cartografiar rasgos estructurales sobre la superficie del basamento. Vale decir que los valores de profundidad del basamento están referidos al basamento magnético.

La diferencias de susceptibilidad magnética y magnetización en cada litología permiten entonces un avance en el modelado ya que estas variaciones solo son atribuidas a materiales con capacidad de magnetización remanente a partir de un campo inducido, como lo es la mineralogía presente en el basamento terrestre a diferencia de cuerpos sedimentarios (arenisca, lutita) que presentan una respuesta magnética casi nula a menos que existan acumulaciones de otro tipo de materiales (DOBRIN, 1961).

La prospección magnética integrada al conjunto de la información obtenida por otros métodos permite una integración de los datos que respaldan el modelo a generar incluyendo la información geológica.

La Tierra se comporta magnéticamente al igual que un gigantesco imán irregular. Este imán imaginario se alinea determinando lo que se conoce como eje magnético terrestre, el cual intercepta a la superficie del globo terrestre en dos puntos denominados polos magnéticos. En el campo magnético terrestre se pueden debe considerar dirección, sentido e intensidad, dados por su declinación e inclinación en cualquier punto de la Tierra.

### **Operaciones de Campo**

Las exploraciones magnéticas son llevadas a cabo tanto en mar, como aire y tierra. Sabiendo que la susceptibilidad de las rocas sedimentarias es relativamente pequeña, la respuesta principal esta relacionada a las rocas ígneas que componen el basamento algunas veces dispersas en los sedimentos.

En los últimos 15 años se ha hecho posible la extracción de pequeñas anomalías hasta en adquisiciones áreas. Por motivado a la mejor sensibilidad de los magnetómetros, mayor precisión en ubicaciones a partir de radares, correcciones diurnas y técnicas avanzadas para el tratamiento de datos como la remoción de los efectos de ruido (Telford et. al. 1990)

## Adquisiciones magnéticas terrestres

Existen diferentes tipos de magnetómetro según su principio de funcionamiento como lo son el magnetómetro de flujo, óptico de bombeo y el magnetómetro de precisión protónica, este último magnetómetro de adquisición logra cubrir un mayor detalle de acuerdo a las susceptibilidades presentes en los sedimentos y la disposición del basamento. Para el desarrollo de este proyecto utilizaremos un magnetómetro de bobina orientada con precisión protónica y apreciación de 0,1 nT apreciación.

El magnetómetro de precisión protónica tiene su origen a partir de 1945 con la resonancia magnética nuclear. Algunos núcleos tienen un momento de red magnética que relacionado con la frecuencia de resonancia del SPIN, causa en ellos una respuesta en relación a un eje axial del campo magnético presente. El magnetómetro de precisión protónica depende de la medida de la libre precisión de frecuencia de los protones (núcleo de hidrógeno) que han sido polarizados en dirección aproximadamente normal a la dirección del campo magnético terrestre. La única desventaja de adquisición con este tipo de magnetómetro es que solo el campo total puede ser medido y la medición continua no puede ser echa ya que esta requiere un segundo o más entre lectura según la orientación de los protones (Sheriff, 1984).

En este tipo de adquisición las estaciones son separadas normalmente entre 15 y 60 mts. La gran parte de las mediciones están referidas al campo total pero la componente vertical en magnetómetros de flujo son también usados.

De acuerdo a las correcciones a tomar en cuenta para este tipo de prospección se debe crear una estación base de medición cada cierto intervalo de tiempo con el equipo a utilizar. Esto nos permite monitorear las variaciones temporales del campo magnético. La medición se debe realizar a una separación prudencial de cualquier objeto metálico y no poseer ninguna prenda que pueda afectar el comportamiento del campo en el lugar de medición.

Adicionalmente de los efectos diurnos la reducción requerida para la data magnética es insignificante. El gradiente vertical varia desde 0.03 nT/m en los polos hasta 0.01 nT/m en el ecuador. De hecho la variación por latitud raramente es mayor de 6 nT/m. Así elevaciones y correcciones por latitud son generalmente innecesarias.

Sin embargo una variación abrupta por desniveles en la topografía que afecte el campo magnético puede ser suavizada reduciendo las medidas de una superficie irregular  $Z = h(x,y)$  a un plano horizontal  $Z=0$  sobre este. Lo ideal es que todas las mediciones se realicen sobre un mismo plano horizontal (Telford et. al. 1990)

Es necesario entonces, conocer algunas definiciones relacionadas al magnetismo según Dobrin (1961).

- **Polo Magnético:**

La orientación que designan generalmente las líneas de fuerzas del campo magnético van desde un punto cercano a uno de los extremos de un cuerpo al otro extremo de carga opuesta, este fenómeno presenta líneas de flujo de campo magnético convergente en los polos.

La estructura de las líneas de fuerzas creadas por un imán o por cualquier objeto que genere un campo magnético puede visualizarse como líneas de flujo de campo magnético alrededor del cuerpo, presentándose unidas en los polos de entrada – salida, y se separan a lo largo del recorrido del polo magnético. En los extremos de un imán, donde las líneas de fuerzas están más próximas, el campo magnético es más intenso; en los lados del imán, donde las líneas de fuerza están separadas, el campo magnético es débil. Según su forma y su fuerza magnética, los distintos tipos de imán (dinamo terrestre) producen diferentes esquemas de líneas de fuerzas.

Un extremo del imán siempre se orientará en la dirección general del polo norte terrestre; cerca de este extremo está el polo norte, o polo positivo de la aguja, el otro extremo es el polo sur o negativo.

- **Campo Magnético, flujo e inducción:**

El campo magnético es la región del espacio en la que se manifiestan los fenómenos magnéticos. Estos actúan según unas imaginarias líneas de fuerzas; estas son el camino que sigue la fuerza magnética. Se define flujo magnético que pasa por una superficie dada como el número de líneas que lo atraviesan. La inducción magnética es el número de líneas de fuerzas que atraviesan cada unidad de superficie. Entonces si  $F$  es el flujo,  $S$  es la superficie y  $B$  es la inducción magnética, resulta:  $F=B \cdot S$  donde, la unidad internacional de flujo es el weber.

- **Magnetismo Terrestre:**

La intensidad del Campo Magnético Terrestre (C.M.T.), es una cantidad vectorial en función del tiempo y del lugar ( $P$ ) de observación, designado simbólicamente en general, con la notación:  $F(P,t)$ .

La representación gráfica del comportamiento del C.M.T. en la superficie de la tierra se efectúa por medio de mapas magnéticos en que están trazadas, para cada elemento geomagnético.

En un punto cualquiera, el campo magnético puede definirse por sus componentes horizontal  $H$  y vertical  $Z$ , su inclinación  $I$  respecto de la horizontal y su declinación  $D$ , que es ángulo formado por los nortes magnéticos y el geográfico.

La unidad C.G.S. del campo magnético es el oersted (a veces llamado Gauss) pero en prospección la unidad que se emplea es la gamma ( $G$ ) que equivale a  $10^5$  oersted (Telford et. al. 1990).

- **Variaciones Temporales del Campo Magnético Terrestre:**

La intensidad magnética terrestre cambia su dirección de una forma lenta e irregular. Se puede comprobar dichas variaciones al medir la intensidad en laboratorios magnéticos, donde se observan cambios de pequeños periodos en la magnitud del campo. Estos cambios son debidos a varias causas, y pueden componerse en seculares, diurnos solares, diurnos lunares y tormentas magnéticas.

- **Propiedades Magnéticas de las Rocas:**

Susceptibilidad ( $k$ ): la susceptibilidad magnética de un cuerpo es la relación que existe entre la intensidad magnética presente y el campo magnético inductor. Un cuerpo con alta susceptibilidad magnética responderá alineando en totalidad sus electrones libres al estar sometido a la presencia de un campo.

- **Comportamiento Magnético de las Rocas:**

Al someter la materia a un campo exterior se presentan 3 fenómenos magnéticos: Diamagnetismo: consiste en una variación del radio y de la velocidad de giro de las cargas de los átomos, con lo que varía el momento magnético de estos. Este fenómeno se presenta a todos los átomos, pero se aprecia cuando el número de electrones es grande y dispuesto con una simetría tal, que el momento magnético del átomo no es nulo. El campo magnético en el interior de estos cuerpos es menor, por lo tanto,  $K < 0$ . Los materiales diamagnéticos se caracterizan por ser difícilmente o nada imantables. Paramagnetismo: este fenómeno se presenta cuando en las sustancias el momento magnético del átomo no es nulo, está en todas las direcciones, con lo que las sustancias aparecen como no magnéticas pero en presencia de un campo exterior se ordenan de forma que refuerzan la acción de este y presentan susceptibilidad  $> 1$ . Este fenómeno depende de la agitación térmica de las moléculas y por lo tanto de la temperatura. Los materiales paramagnéticos son fáciles de magnetizar.

Ferromagnetismo: se presentan en sólidos interatómicos suficientemente grandes como para producir un paralelismo de los momentos atómicos de un conjunto de átomos próximos, los cuales se ordenan al someterlos a un campo exterior como sucede en el paramagnetismo. (DOBRIN, 1961)

### 3.1.2 Instrumentación

Magnetómetro de precisión protónica, GEOMETRICS, modelo: 856-GX.

### 3.1.3 Metodología de Adquisición

Para llevar a cabo esta adquisición se realizaron 16 perfiles en zonas (figura 3.1.3.a) donde la logística lo permitiera según el acceso, ya que la vegetación predominante en esta zona es muy densa ya sea de bosque o sembradíos de caña de azúcar, tal factor permitió la adquisición solo a lo largo de perfiles situados en brechas o caminerías.

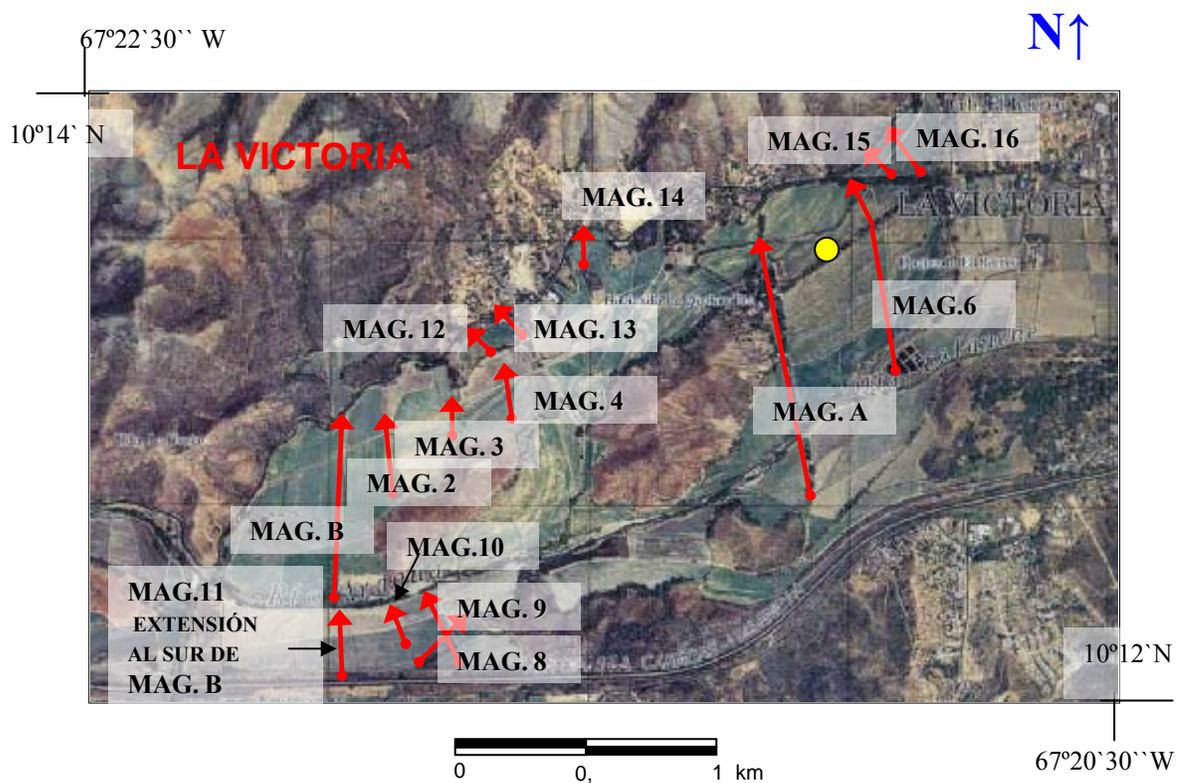


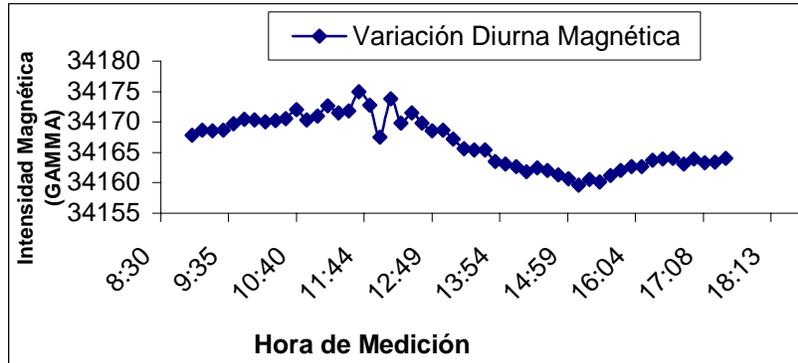
Figura 3.1.3.a, Ubicación de los perfiles magnéticos. Tomada del ortofotomapa 6746-IV-SE

escala 1:25000 (Edo. Aragua),

→ Perfiles magnéticos adquiridos.

● Lugar de adquisición de deriva diurna magnética (Estación Base)

Se crearon circuitos con apertura y cierre con un máximo de media hora para realizar las correcciones de la deriva diurna. Estos periodos de comportamiento regular según la variación diurna magnética se determinaron a partir de la deriva diurna magnética tomando mediciones automáticas desde las 9:00 am hasta las 5:30 pm en periodos de cada 5 minutos (figura 3.1.3.b), el punto de adquisición se ubicó centrado en la zona de estudio (figura 3.1.3.a)



**Figura 3.1.3.b, Variación Diurna Magnética en la zona de La Victoria Edo. Aragua. Se puede observar anomalías de variación diurna entre las 11:30 am y 1:30 pm, periodo en el cual no se crearon circuitos de medición debido a la irregularidad del campo magnético.**

Cada perfil presentó una separación de estaciones en cada 15 pasos (1,6 m/paso aproximadamente), todas las estaciones se presentaron fueron ubicadas mediante GPS (Garmin III) en ubicaciones reticulares referidas al geoide 19, La Canoa.

### 3.1.4 Metodología de Procesamiento

Después de adquiridas las mediciones absolutas de intensidad de campo magnético total, se organizaron los datos de acuerdo a los perfiles adquiridos y fueron corregidos tomando en cuenta las variaciones magnéticas diurnas como se presenta en el siguiente circuito (tabla 3.1.4)

Estación	LONGITUD (m)	LATITUD (m)	MEDICIÓN (GAMMAS)	HORA hh/mm/ss	MEDICIÓN CORREGIDA
0	679652,8901	1130633,143	34011	144438	34011,0
1	679647,5282	1130647,357	34040	144544	34040,3
2	679644,4871	1130667,516	34096	144622	34096,6
3	679640,2856	1130684,702	34153	144738	34153,9
4	679636,0991	1130698,921	34180	144833	34181,2
5	679630,7553	1130709,574	34176	144903	34177,4
6	679628,9409	1130719,652	34184	144937	34185,5
7	679652,8901	1130633,143	34008	145423	34011,0
		ABRE	34011	2:44:38 p.m.	
		CIERRE	34008	2:54:23 p.m.	
		DERIVA	-0,3	GAMMA/min	

**Figura 3.1.4, Datos pertenecientes al perfil # 12 según la prospección Magnética en la zona de La Victoria Edo. Aragua**

Una vez realizadas las correcciones con apertura y cierre de circuito por cada perfil, se prosiguió con el tratamiento de los datos a partir de la obtención de un mapa de Intensidad Magnética Total, Análisis Espectral, Reducción al polo. Se tomaron en cuenta los perfiles más representativos nombrados como Perfil “A” y perfil “B” (Zona de La Victoria Edo. Aragua) de igual modo prospectado y correlacionado con la herramienta VLF. Cabe destacar que el perfil “A” presentó a su vez mayor cantidad de información geofísica como el uso de la sísmica de reflexión somera, refracción y la herramienta electromagnética EM-34.

El procesamiento se realizó bajo la plataforma de GEOSOFT programa “OASIS” bajo la siguiente secuencia:

1.- Se creó un mapa de intensidad magnética total, para la identificación de las anomalías más resaltantes.

2.- Reducción al polo del mapa de anomalías magnéticas para la ubicación más precisa de los cambios observados con una geometría representativa de los cuerpos que las causan simulando un campo vertical directamente en el polo.

3.- Los perfiles más representativos (MAG. A y MAG. B) en cuanto a longitud e identificación de anomalías fueron procesados según Intensidad Magnética Total y análisis de derivada vertical para resaltar y clasificar los cambios más importantes de transición a profundidad.

4.- Esta serie de procesos permitieron la identificación de las anomalías más resaltantes para inferir así ubicación de las fallas o presencia de cuerpos en el subsuelo.

## **3.2 MÉTODO ELECTROMAGNÉTICO EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA (EM-34)**

### **3.2.1 Base Teórica**

El principio de funcionamiento de este método de prospección geofísica se basa en la generación de un campo electromagnético en el dominio de la frecuencia, a partir de bobinas móviles, una bobina transmisora (Tx) y una receptora (Rx), la profundidad de prospección dependerá de la separación de las bobinas, la frecuencia generada por el equipo y la configuración de acuerdo al campo generado (horizontal o vertical) según sea el caso.

FDEM es una técnica efectiva y ampliamente usada por investigaciones ambientales, hidrológicas, arqueológicas, geotécnicas, detección de utilidades y exploración de minerales.

Existen consideraciones que deben ser tomadas en cuenta a la hora de realizar este tipo de adquisiciones como el hecho de que el método electromagnético presenta ruidos en su señal de carácter complejo a partir de la existencia de cualquier tipo de corriente o campo externo afectando así la respuesta de los equipos.

El método electromagnético de dominio en la frecuencia basado en la lectura de campo secundario registrado como respuesta entre dos bobinas (una emisora y otra receptora) permite inferir resistividades aparentes de forma indirecta a partir del cuerpo en prospección y la profundidad alcanzada de acuerdo a la separación de las bobinas y la frecuencia utilizada (Xu y Wang, 1987).

Principio del GROUND FEM – Pequeñas bobinas cumplen la función de dipolos y se usan como transmisores y receptores. Varias configuraciones se usadas para diferentes aplicaciones. Los pares de bobinas pueden estar dispuestos de acuerdo a una configuración coplanar horizontal, co-axial vertical o co-axial horizontal. En algunos sistemas el Tx(transmisora) y el Rx(receptora) se ubican en el mismo contenedor y transportado por una sola persona a lo largo del perfil. Sistemas con separaciones más grandes y operadas por dos personas presentan una bobina Tx y una Rx separadas en decenas de metros. Dependiendo del sistema y los datos de interés en la adquisición, frecuencias singulares o múltiples son utilizadas. En función de la frecuencia y/o la separación de las bobinas(Tx y Rx), se podrán prospectar diferentes profundidades.

La prospección electromagnética permite alcanzar diferentes profundidades, según sea el tipo de instrumentación estos diferentes niveles pueden ser alcanzados a partir de la separación de las bobinas emisora y receptora (a mayor distancia mayor profundidad de prospección) o variando la frecuencia (a menor frecuencia mayor profundidad de prospección) del campo electromagnético (Xu y Wang, 1987).

## Respuesta del Método Electromagnético

Si tomamos en cuenta un modelo simplificado a partir de la existencia de un tubo conductor en el subsuelo y generamos un dipolo magnético colocado en la superficie terrestre corrientes secundarias serán inducidas en el subsuelo y en el tubo conductor generando así una respuesta cuantitativa perceptible referido a la resistividad del medio y el cuerpo en prospección (Figura 3.2.1.a).

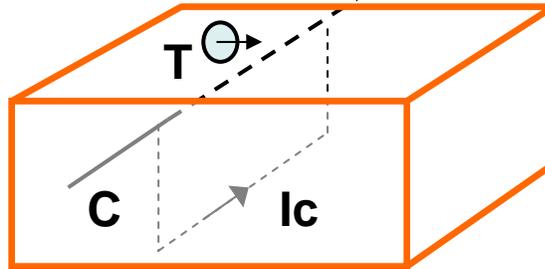


Figura 3.2.1.a, Tubo conductor (o cable de corriente) enterrado en el subsuelo en un dipolo alternante de campo magnético: T es la bobina transmisora; C es el tubo conductor o cable de comunicación; Ic es la corriente inducida fluyendo a lo largo del aro cerrado tubo-tierra-tubo. Tomado de Chen Huiming et. al. (1989).

Cuando la profundidad del cuerpo conductor es suficientemente somera, el campo secundario producido a partir de las corrientes inducidas fluyendo en el aro de conductividad tubo-tierra, y medidas en la superficie de la tierra pueden ser consideradas como aquellas producidas por un tubo infinito extendido en una línea horizontal de corriente localizada en el mismo lugar del cuerpo conductor (Figura 3.2.1.b). En otras palabras una línea de corriente enterrada produciría los mismos efectos que un cuerpo conductor para la situación mencionada. Por lo tanto la respuesta electromagnética de un cuerpo conductor en el subsuelo (en este caso un tubo) puede ser calculada fácilmente y la interpretación de los datos medidos pueden ser interpretados justo bajo el significado de este simple modelo.

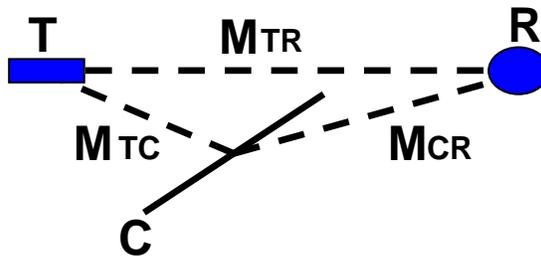


Figura 3.2.1.b, Modelo simplificado de inducción: C es el conductor infinito extendido en el subsuelo de forma horizontal, MTC representa la inductancia mutua entre T y C; MCR representa la inductancia mutua entre C y R. Tomado de Chen Huiming et. al. (1989).

La figura 3.2.1.b muestra la relación entre el sistema de bobinas y el blanco. Una bobina de transmisión energizada por una corriente interna esta localizada en la superficie de la tierra. Una corriente inducida será creada en el cable (conductor) del subsuelo. Esta corriente secundaria producirá a su vez secundarios campos electromagnéticos.

El receptor en la superficie registrará también el campo primario magnético. Existen en esta situación tres parejas de circuito en uno solo: bobina trasmisora - cuerpo conductor, bobina transmisora-bobina receptora, cuerpo conductor bobina receptora. De cualquier forma si bobinas transmisoras y receptoras ortogonales son usadas entonces se obtendrá un sistema nulo y solo el campo secundario será medido (Xu y Yang, 1988).

### 3.2.2 Instrumentación



Figura 3.2.2 Equipo de electromagnético EM-34. Bobinas transmisoras y receptoras

**Tabla 3.2.2** Características técnicas de EM-34

<b>Frecuencias de Operación</b>	6.4 KHz con separación de 10 m 1.6 KHz con separación de 20 m
<b>Rango de medición de conductividad</b>	0 – 300 mS/metro
<b>Precisión</b>	2% en escala completa
<b>Nivel de ruido</b>	Menos de 0.2 mS/ metro
<b>Distancia entre transmisor y receptor</b>	10 m , 20 m

### 3.2.3 Metodología de Adquisición

Sobre todos los perfiles se eligió uno en especial tomando en cuenta su longitud y discontinuidades laterales de mayor importancia observados según la identificación de anomalías a partir del mayor numero de técnicas geofísicas incluyendo no solo VLF, magnetismo, Sísmica de Reflexión y Sísmica de Refracción y EM-34, ver figura 3.2.3.).

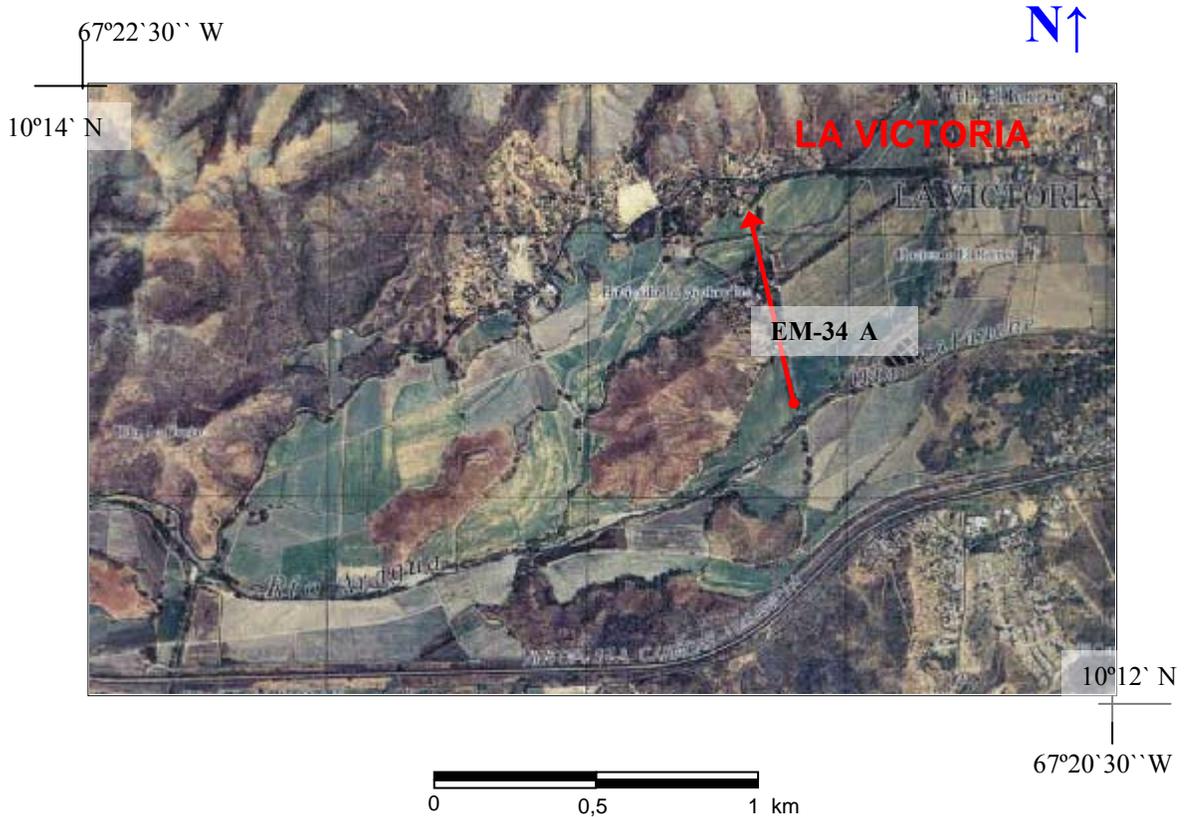


Figura 3.2.3, Ubicación de perfil “A” EM-31. Tomada del ortofotomapa 6746-IV-SE

escala 1:25000 (Edo. Aragua),

→ Perfil electromagnético “A” (EM-34) adquirido.

El perfil se ubicó en principio y fin mediante el GPS (Garmin III) en mediciones reticulares referidas al geoide 19, La Canoa.

El perfil tuvo una separación de 20 metros por cada medición realizada tanto en dipolo vertical (D.V.) como horizontal (D.H.) para separaciones entre bobina receptora y emisora respectivamente de 10 y 20 m.

### 3.2.4 Metodología de Procesamiento

Se obtienen diferentes profundidades de prospección variable a partir de la separación de las bobinas (receptora – emisora) y la forma del dipolo (tabla 3.3.4).

Separación entre bobinas (m)	Profundidad de la medición (m)	
	Dipolo Vertical	Dipolo Horizontal
10	15	7.5
20	30	15

**Tabla 3.2.4, Alcance de Dipolo Vertical y Horizontal según separaciones entre bobinas de 10 y 20 m. Tomado de Compilación de Manuales TRX-Consulting 2002.**

Los resultados arrojados por el equipo en cada medición a lo largo del perfil se graficaron en forma directa de acuerdo a valores de conductividad aparente expresados en SIEMENS, donde  $1 \text{ ohm.m} \equiv (1/\text{SIEMENS}) * 1000 \equiv \text{MILISIEMENS} / \text{m}$

Utilizando el programa SURFER versión 6.02 se grafican los datos de manera directa a lo largo del perfil de acuerdo a las diferentes profundidades alcanzadas en estaciones separadas cada 20 mts. Como resultado final se obtendrá dos perfiles 2D de dipolo vertical y horizontal respectivamente a partir de las resistividades aparentes registradas (Distancia vs. Profundidad) interpolando en el mayado de la sección transversal los valores de conductividad obtenidos en campo.

Cabe destacar que este perfil “A” presenta información de todas las herramientas usadas en este proyecto como son VLF, M-34, Magnetismo, Sísmica somera de reflexión y refracción. Completando un total de 6 herramientas de prospección geofísica.

### 3.3 ELECTROMAGNETISMO VLF (MUY BAJA FRECUENCIA)

#### 3.3.1 Base Teórica

Es un método electromagnético que responde a las variaciones de la resistividad en el subsuelo hasta una profundidad de algunas decenas de metros basando su principio en el hecho de que las propiedades eléctricas del subsuelo afectan el comportamiento de las ondas de radio de baja frecuencia. Este tipo de ondas primarias son generadas por poderosas antenas transmisoras VLF, de 200 a 300 metros de altura, ubicadas en algunos puntos estratégicos alrededor del planeta (figura 3.4.1.a). A través de estas antenas se hace circular una corriente alterna, generándose un campo electromagnético variable que se propaga en todas las direcciones y que puede ser detectado a miles de kilómetros de distancia de la antena emisora. Las ondas electromagnéticas irradiadas tienen frecuencias en el orden de 3 a 30 KHz.

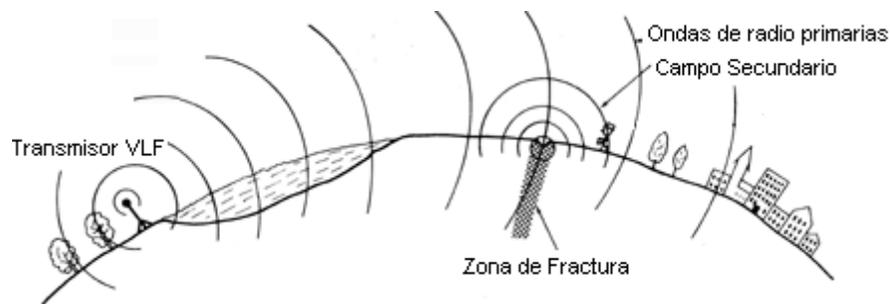


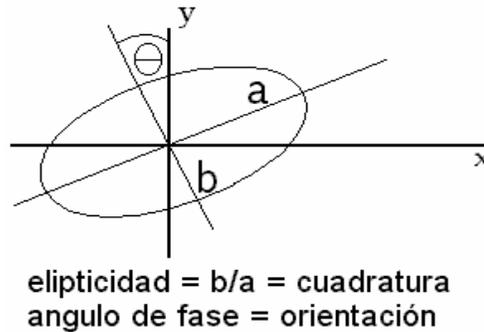
Figura 3.3.1.a, Esquema de adquisición y funcionamiento del método VLF. Tomado de Compilación de Manuales TRX-Consulting 2002.

Las señales generadas por las antenas emisoras están formadas por un campo eléctrico y un campo magnético que oscila en la frecuencia de la antena elegida, los cuales se representan por vectores. Para el campo magnético el vector es horizontal y está orientado perpendicular con la línea que une el punto de observación y el transmisor, mientras que el campo eléctrico generado por el cuerpo es vertical y perpendicular tanto a la dirección de propagación como al campo magnético primario.

Para cada punto del espacio éste estará orientado en una determinada dirección y tendrá un determinado desfase con respecto al campo primario. Debido a que ambas componentes del campo magnético difieren tanto en fase como en dirección, el campo magnético resultante cambia continuamente de dirección, realizando una evolución completa para cada ciclo. La resultante de dichos vectores traza una elipse cuyo

extremo estará muy alargado en la dirección del campo primario y se dice que el campo está elípticamente polarizado.

Las mediciones se obtienen de las componentes en fase y en cuadratura de la proyección de la elipse de polarización sobre el plano horizontal. (figura 3.3.1.b)



**Figura 3.3.1.b, Campo primario:** será el generado por la antena fija de baja frecuencia. **Campo secundario:** esta definido por la alteración sobre el campo primario producida por los cuerpos inmersos en el subsuelo. Este campo se expresa entonces según su fase (orientación) y la cuadratura según la relación entre los ejes principales de la elipse. Tomado de Mathieson, 1982.

Dentro de las aplicaciones geológicas más comunes de este método se encuentran: la exploración minera, detección de aguas subterráneas, estudios de suelo, seguimiento de fallas y estudios arqueológicos, entre otras.

Cuando un cuerpo conductor se encuentra inmerso en un campo electromagnético se inducirá en él una corriente eléctrica que generará, a su vez, un campo magnético secundario. Para cada punto del espacio éste estará orientado en una determinada dirección y tendrá un determinado desfase con respecto al campo primario.

Debido a que ambas componentes del campo magnético difieren tanto en fase como en dirección, el campo magnético resultante cambia continuamente de dirección, realizando una evolución completa para cada ciclo. La resultante de dichos vectores ( $H_p$  y  $H_s$ ) traza una elipse cuyo extremo estará muy alargado en la dirección del campo primario y se dice que el campo está elípticamente polarizado.

Los principales parámetros medidos en VLF son la inclinación del eje mayor de dicha elipse de polarización ( $\alpha$ ) y la elipticidad ( $\epsilon$ ), esto es, la relación entre su eje mayor y menor ( $b/a$ ). Matemáticamente se demuestra que  $\alpha$  es aproximadamente igual a la parte en fase (componente real) de la componente vertical ( $H_{ZR}$ ), mientras que la elipticidad es aproximadamente igual a la parte imaginaria (componente en cuadratura) de la componente vertical ( $H_{ZI}$ ). Ambos parámetros suelen medirse en porcentajes del campo primario horizontal del siguiente modo (Fischer, 1983).

Componente Real (%)=100  $\alpha$  ( $\alpha$  en radianes) y Componente Imaginaria (%)= 100  $\epsilon$

Como mencionado, con este instrumento es posible también realizar medidas del campo eléctrico de las cuales se podrá determinar la resistividad de los materiales del subsuelo. El campo eléctrico radiado por la emisora no es completamente vertical sobre la superficie del terreno, ya que el campo primario interactúa con el terreno de conductividad finita dando lugar a una componente del campo eléctrico horizontal. De este modo, el campo eléctrico forma con la vertical un determinado ángulo( $\theta$ ), el cual aumenta, al igual que la componente horizontal, a medida que lo hace la resistividad del terreno.

Conocido el valor de  $E_x$ , medido generalmente en la dirección del perfil, y del campo primario  $H_y$ , puede determinarse la  $\rho_a$  mediante la ecuación de Cagniard donde  $\rho_a$  es la resistividad aparente,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$   $\omega = 2 \pi \phi$

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu_0} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2$$

Entre las ventajas del método deben contarse la rapidez de ejecución, ya que sólo son necesarios unos minutos para realizar una medida y sin necesidad de extender complejos dispositivos. Además, al no necesitar equipo emisor sólo será necesario un operador de campo. Todo esto implica que las investigaciones realizadas por este método resultan rápidas y económicas (Fisher, 1983)

### 3.3.2 Instrumentación



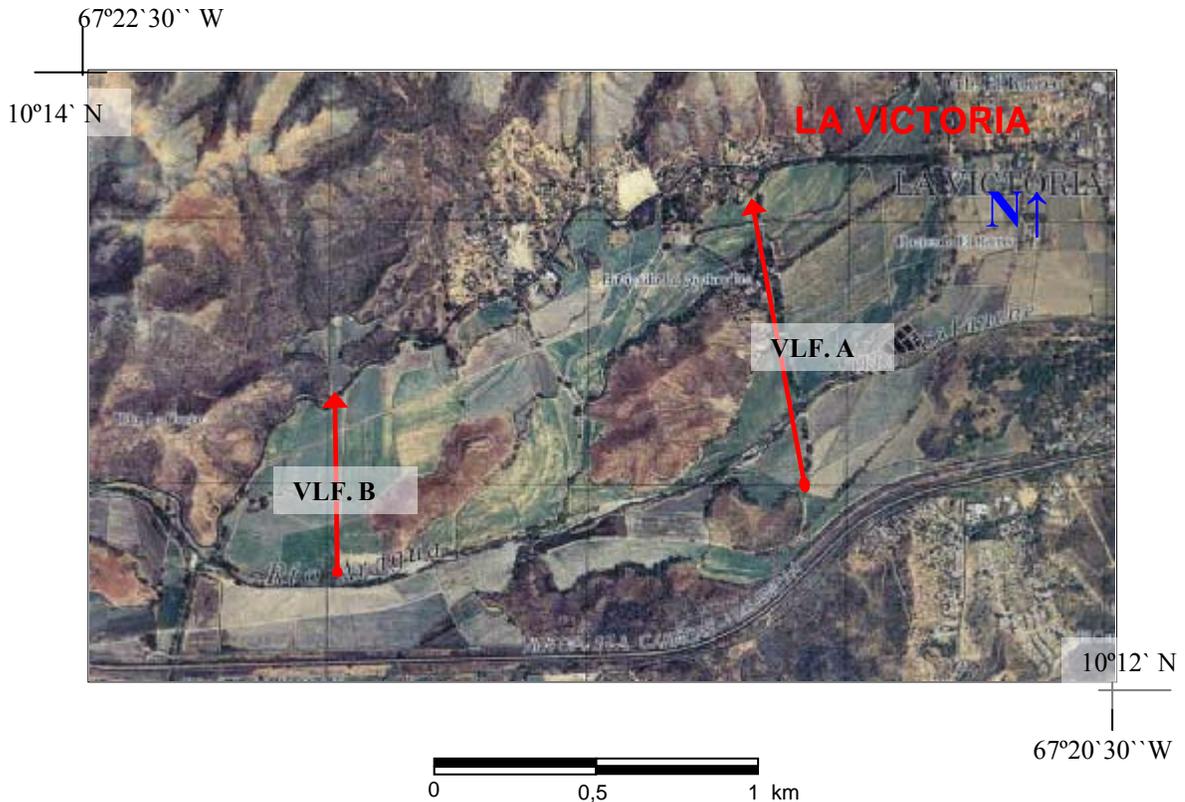
Figura 3.3.2 Equipo de VLF EM-16

**Tabla 3.3.2 Características Generales de EM-16 (VLF)**

<b>Cantidad Medida</b>	Componentes vertical de campo magnético
<b>Sensibilidad</b>	En fase : $\pm 150\%$ Cuadratura : $\pm 40\%$
<b>Resolución</b>	$\pm 1\%$
<b>Salida</b>	Anulación de tono. La componente en fase se mide en un inclinómetro. La componente en cuadratura en dial graduado.
<b>Frecuencia de operación</b>	15 - 25 Khz.
<b>Fuente de poder</b>	6 baterías AA
<b>Dimensiones</b>	42x14x9 cm
<b>Peso</b>	Instrumento: 1,6 Kg. Consola: 5,5 Kg

### 3.3.3 Metodología de Adquisición

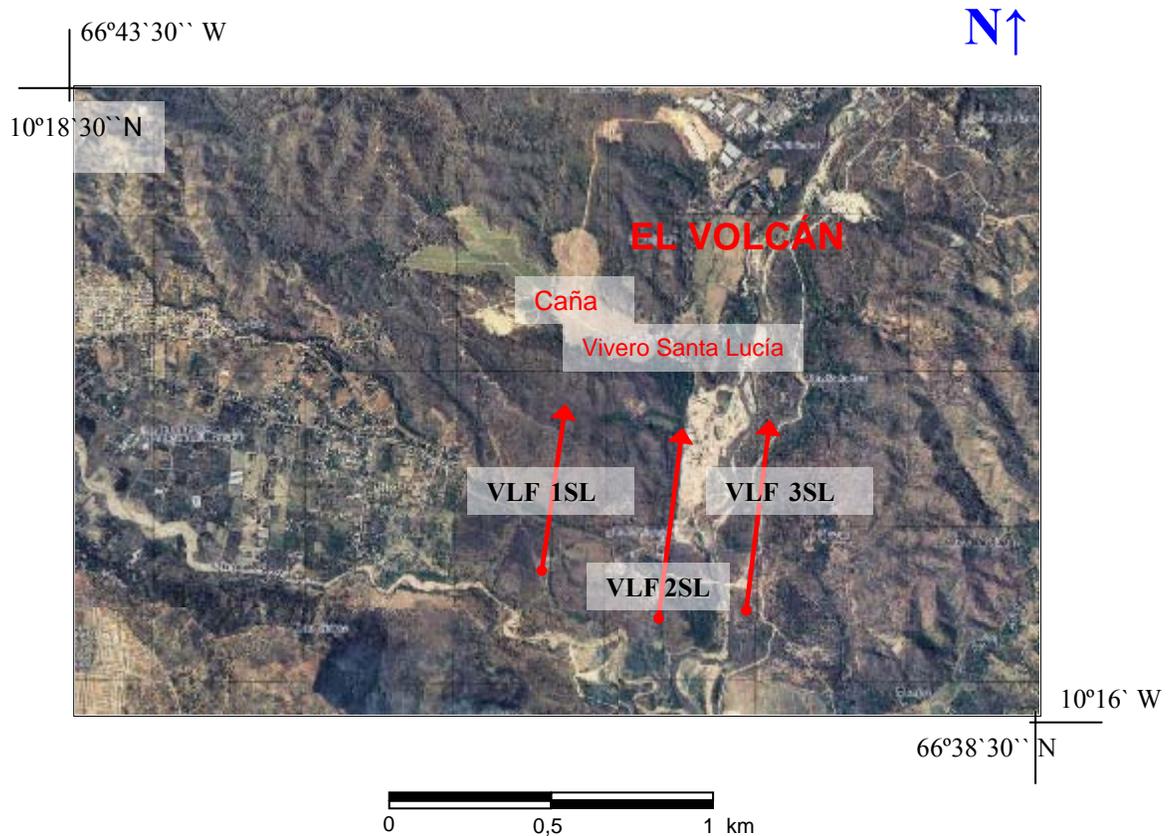
Esta tipo de prospección (VLF) fue la única aplicada en ambas zonas de estudio buscando la ubicación fallas presentes. Se llevaron a cabo en los 2 perfiles de mayor importancia según anomalías de posibles de fallas observados y discontinuidad lateral a partir de la prospección magnética en la ventana de estudio de la Victoria (Hda. La Quebradita), como se muestra en la figura (figura 3.3.3.).



**Figura 3.3.3.a, Ubicación de tendidos VLF. Tomada del ortofotomapa 6746-IV-SE escala 1:25000 (Edo. Aragua),**

**→ Perfiles electromagnéticos de baja frecuencia (VLF) adquiridos.**

Un número de 3 perfiles en la zona de Santa Lucía (Sector La Caña) ver figura (figura 3.3.3.b).



**Figura 3.3.3.b, Ubicación VLF. Tomada del ortofotomapa 6846-I-NO  
escala 1:25000 (Edo. Miranda)**

**→ Perfiles electromagnéticos de baja frecuencia (VLF) adquiridos.**

Obsérvese la cobertura de cada perfil en longitud, el inicio y fin de estos perfiles se ubico mediante GPS (Garmin III) en mediciones reticulares referidas al Geoide 19, La Canoa.

Cada perfil presentó una separación de estaciones en cada 15 pasos (1.6 m/paso aproximadamente), en cada estación se registro la variación porcentual de fase y cuadratura entre el campo secundario producido por la anomalía terrestre y el primario generado por la antena fuente.

### 3.3.4 Metodología de Procesamiento

Una vez obtenidos los valores en porcentaje (variación) de cambio en fase y cuadratura del campo magnético secundario registrado, se graficaron como se muestra en el ejemplo de la figura 3.3.4.a

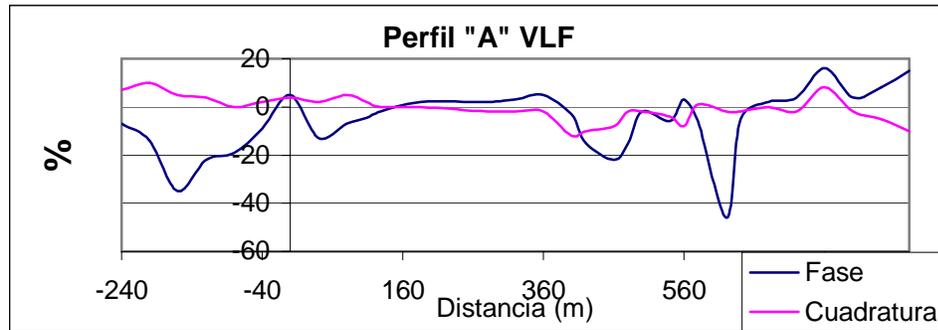


Figura 3.3.4.a, Comportamiento en fase y cuadratura del campo magnético secundario registrado por el método electromagnético de baja frecuencia (VLF), tomando como ejemplo el perfil VLF –A en la zona de La Vicotria.

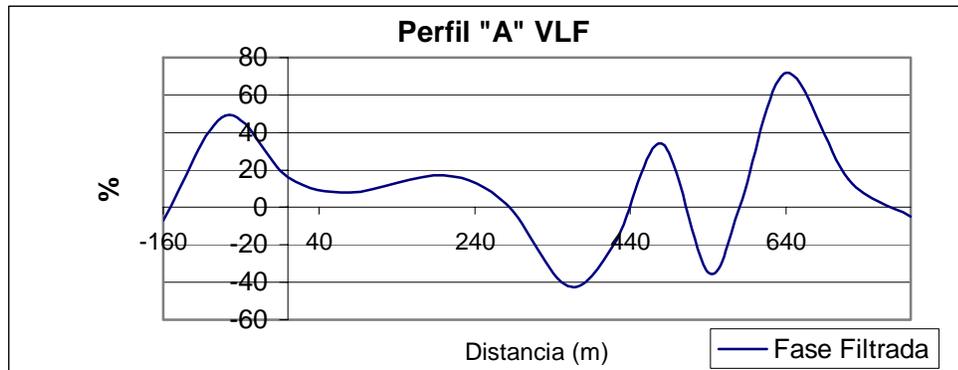
Seguidamente se aplicó el filtro “PHRASER FILTER” sobre los valores de fase obtenidos cada perfil del modo como se muestra en la tabla 3.3.4.

Ubicación	Buzamiento medido	Aplicar signos y formar movidas de suma en pares de enteros	Restar manera alternativa, los valores obtenidos en el paso anterior
3+00S	6S	-6	-13
3+50S	7S	-7	-15
4+00S	8S	-8	-23
4+50S	15S	-15	-39
5+00S	24S	-24	-16
5+50S	8N	+8	+18
6+00S	10N	+10	+22
6+50S	12N	+12	+26
7+00S	14N	+14	+28
7+50S	14N	+14	+34
8+00S	20N	+20	+34

Tabla 3.3.4, Ejemplo de aplicación de filtro PHRASER FILTER. Tomado de Compilación de Manuales TRX-Consulting 2002.

Una vez obtenida la gráfica representativa para cada perfil, se identificaron cruces o cambios pronunciados entre los comportamientos de fase y cuadratura buscando indicios de falla en el subsuelo.

Estos valores de porcentaje de fase filtrados de forma matemática se graficaron presentando una relación de cambio (figura 3.3.4.b), donde se pueden apreciar los PICKS más pronunciados como indicios de fallas o cambios de conductividad en el subsuelo.



**Figura 3.3.4.b, Comportamiento de fase filtrada (FRASER FILTER) del campo magnético secundario registrado por el método electromagnético de baja frecuencia (VLF), tomando como ejemplo el perfil VLF –A en la zona de La Vicotria.**

Comparando los datos filtrados (fase filtrada) y no filtrados (fase y cuadratura) se identificaron las anomalías más marcadas que luego dependiendo de la cercanía, dirección y longitud de los perfiles entre si, permitió el seguimiento en dirección a lo largo de la falla, solapando información de 2 ó más perfiles en un mismo plano horizontal.

### 3.4 SÍSMICA DE REFLEXIÓN

#### 3.4.1 Base Teórica

La sísmica somera relacionada a la ingeniería, minería y diferentes proyectos ambientales esta rápidamente encontrando nuevas aplicaciones de acuerdo a la caracterización geológica, hidrológica y estratigráfica entre 1-100 m de profundidad. La prospección en objetivos más superficiales y de menor tamaño se ha vuelto posible gracias a las nuevas instrumentaciones que permiten la grabación de ondas sísmicas con alta frecuencia.

Cualquiera que sea el tipo de adquisición sísmica, es necesario producir una energía de onda sísmica y detectar la energía con receptores después de haber viajado por el subsuelo. Los métodos sísmicos a las propiedades mecánicas de los materiales en tierra, pero por otro lado poco sensitivos a las condiciones química de los mismos y el fluido que contengan (Miller et al., 1989).

Los altos costos de una investigación de sísmica de reflexión referidos a la adquisición, procesamiento y programas de interpretación han hecho difícil en las últimas décadas un uso a mayor escala de esta herramienta geofísica substancial. Sin embargo sustanciales progresos se han venido dando desde el año 1980 referidos al mejoramiento de la sísmica superficial de reflexión. Recientemente la mejoría de los métodos de sísmica de reflexión se han ido incrementando progresivamente en aplicaciones a profundidades menores a 30 metros incorporando el “Common-Midpoint” (CMP) utilizado en la industria petrolera y el método de “Common Offset” (CO), los cuales fueron desarrollados específicamente como una técnica de costos reducidos en la caracterización de capas superficiales tomando en cuenta la geometría de adquisición, fuente generadora y estrategias de procesamiento e interpretación (Steeple, 2000).

La importancia de la sísmica esta referida a las propiedades mecánicas de los materiales del subsuelo, pero son relativamente insensibles a la química presente de los materiales que responde en mayor escala a métodos electro-magnéticos como el “Ground Penetrating Radar” (Steeple, 2000).

Baker et al. (1999a,b) a demostrado que los reflectores sísmicos pueden ser graficados en mapas a profundidades menores de 1 m. De este modo las ondas que viajan a altas frecuencias pueden ser usadas para examinar superficies a varios metros de profundidad logrando la captación de detalles característicos en capas superficiales (Park et al., 1999c)

El éxito de la sísmica de reflexión dependerá en gran parte de la existencia de velocidades discretas y/o cambios de densidades en el subsuelo somero, definiéndose así la impedancia acústica. De este modo se podrán identificar entonces discontinuidades caracterizadas por lentes de arena, arcilla o cavidades (Miller et al., 1989).

### Fundamentos de la Sísmica de Reflexión Somera

La sísmica de reflexión presenta parámetros determinantes a la hora de la adquisición, procesamiento e interpretación de los datos como el rango de frecuencia de la señal de acuerdo a tipo de litología, profundidad y el tamaño de las características geológicas en el subsuelo en el objetivo de interés.

Para detectar características geológicas somera, un sismógrafo debe estar capacitado para la grabación de ondas de altas frecuencias (señal). El uso de las altas frecuencias de ondas sísmica (i.e.,  $> 80$  Hz; Sheriff, 1991) es conocida como alta resolución en la sísmica de exploración.

Una capa individual sobre una segunda de espesor cualquiera representa el caso más sencillo de reflexión (figura 3.4.1.a). Una onda sísmica imparte energía a partir de una explosión, caída de masa, vibración o impacto de proyectiles. Las ondas avanzan entonces hemisféricamente lejos del punto fuente. Siguiendo el principio de Fermat's de "menor tiempo". El movimiento de las partículas puede ser descrito un rayo de onda a través de la superficie de la capa subyacente, rebotando en sentido opuesto al presentarse un contraste acústico retornando el eco al geófono de la superficie.

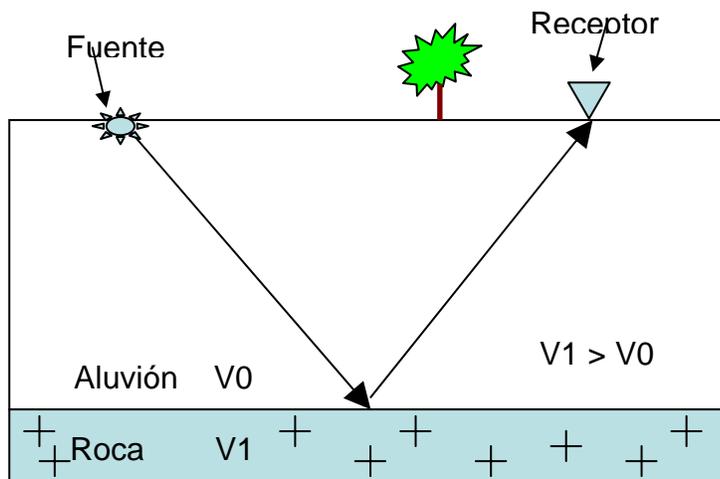


Figura 3.4.1.a, Caso más simple de reflexión en una discontinuidad acústica. Tomado de Steeples (2000)

En la figura 3.4.1.a se puede observar que el paso de un rayo con menor tiempo incluye un punto medio de reflexión (en la superficie de la segunda capa) ubicado entre la fuente y el receptor. El ángulo de incidencia será igual al Angulo con que el rayo es reflejado en la interfase.

La sísmica de reflexión somera a veces puede detectar varias capas en el subsuelo (figura 3.4.1.b). Los rayos son transmitidos en las diferentes discontinuidades de velocidades según la ley de Snell. Varios tipos de onda con sus respectivos tiempos y diferentes capas contribuyen a la complejidad de los sismogramas registrados. En la mayoría de los casos, ondas refractadas, ondas superficiales conocidas como GROUND

ROLL y ondas P convertidas en ondas S en la superficie de la interfase aparecerán también en los sismogramas.

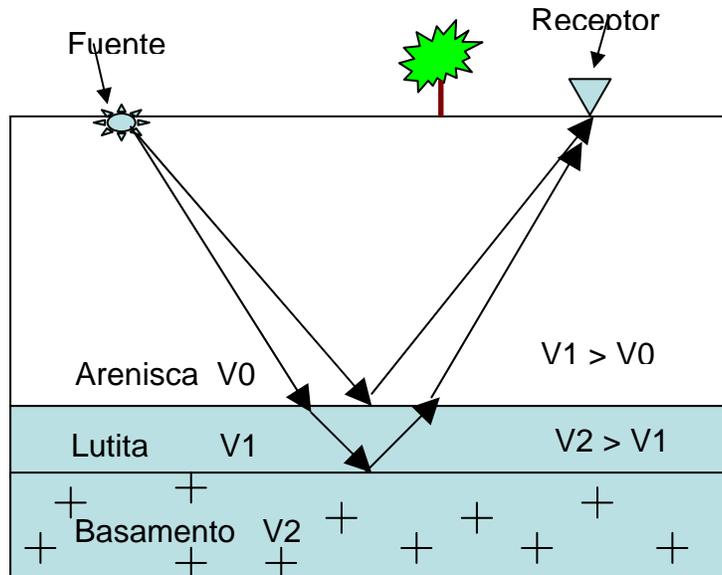


Figura 3.4.1.b. Reflexión y refracción de rayos en un modelo de tres capas con diferentes propiedades acústicas. Tomado de Steeples (2000)

En el caso de un sismógrafo multicanal, varios geófonos detectan las ondas casi simultáneamente (figura 3.4.1.c).

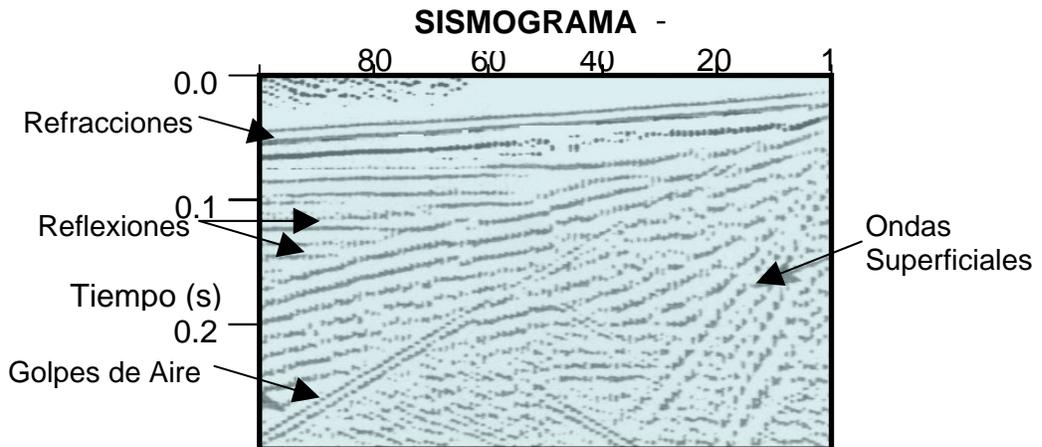
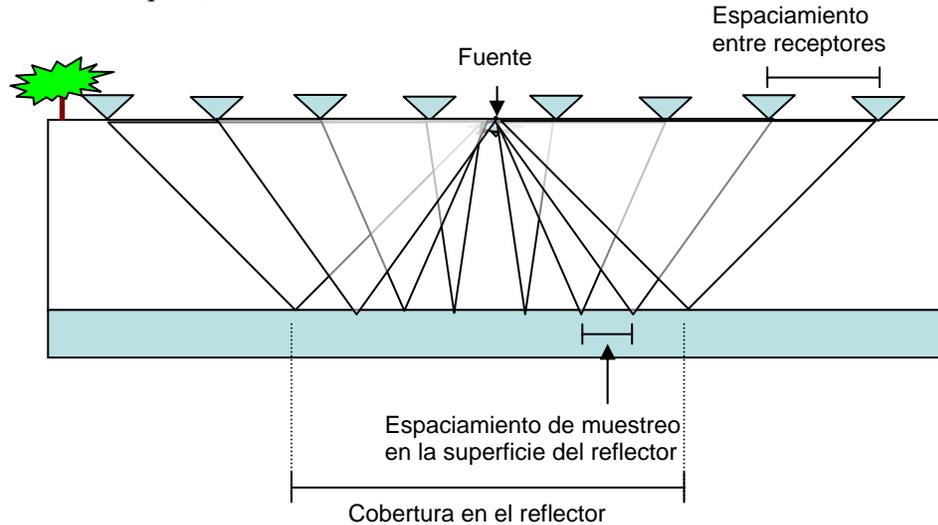


Figura 3.4.1.c  
 Fuente: rifle 30.06, prof. de disparo 30 cm  
 Receptores: Geófono verticales de 100 Hz  
 Escala: AGC con ventana de 40 ms  
 Filtro: filtro BP 80 – 400 Hz. 12db por octava  
 Tomado de Millar et. al. (1989)

Cada canal tiene uno o más geófonos conectados a este. Las reflexiones desde diferentes puntos de la superficie son grabadas por varios geófonos (canales) a diferentes tiempos. La distancia del rayo a la interfase es exactamente la mitad de la separación entre fuente y receptor (figura 3.4.1.d). Por ejemplo si los receptores están separados en un intervalo de cada 4 m en la superficie, las reflexiones serán emanadas desde locaciones en el receptor, cada 2 m en la interfase.



**Figura 3.4.1.d. Esquema de rayos reflejados en la interfase de dos medios. 6 canales de entrada. Notese que el espaciado de muestreo es la mitad del espaciado entre geófonos. Tomado de Steeples (2000)**

Con las ventajas de las grabaciones digitales desde 1960 la capacidad de adherir trazas juntas fue realizable (Mayne, 1962). Desde un punto de vista geométrico cuando las fuentes y los geófonos están separados de manera apropiada algunas de las trazas sísmicas presentarán el mismo punto en la interfase (figura 3.4.1.e). Este punto es llamado Punto Común de Reflexión (CRP “common-reflection point”). El mismo punto proyectado en la superficie terrestre será el Punto Medio Común (CMP “common mid-point”). El método del CMP es usado ampliamente debido a su capacidad de resaltar los datos de cada traza por adición (STACKING). La señal de reflexión será entonces ampliada de acuerdo a la raíz cuadrada del numero de trazas apiladas. El numero de trazas apiladas juntas para una locación particular es conocido como “CMP fold” llamado también punto común de profundidad (CDP “common - depth point”) en literaturas más antiguas.

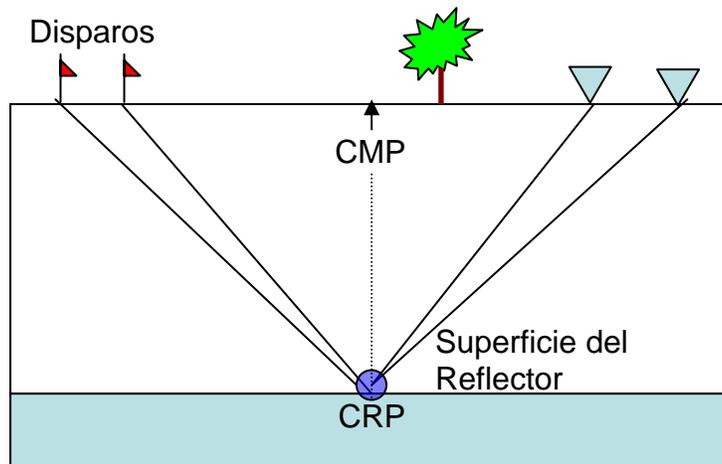


Figura 3.4.1.e, Ilustración del concepto de CMP,y CRP. “Common-Depth-Point” y “Common-Reflexión-Point” respectivamente. Tomado de Steeples (2000)

La sísmica de reflexión es usado para calcular la configuración espacial y algunas veces la litología de las unidades geológicas, tomando siempre en cuenta las propiedades de las ondas y su atenuación (Steeple, 2000).

Sísmica

### 3.4.2 Instrumentación

- Un sísmógrafo de 48 canales , Geometrics STRATA VIEW, muestreo: 500  $\mu$ s, Duración: 1024 ms
- Cartuchos calibre 12 rellenos con pólvora (155 disparos)
- SWITCH con entrada de 96 canales por geófono y 48 canales de salida
- 96 geófonos verticales (onda P)
- 2 cables para geófonos con 24 canales cada uno
- 2 extensiones para cable de geófono.

### 3.4.3 Metodología de Adquisición

De todos los perfiles se eligió uno para la realización de la adquisición sísmica tomando en cuenta su longitud y discontinuidades laterales de mayor importancia observados para la realización de un modelado a partir del mayor numero de técnicas geofísicas incluyendo VLF, Magnetismo y EM-34, (ver sección 3.2.3, sección 3.2.3, ubicación idéntica a perfil EM-34).

El perfil se ubicó en principio y fin con la ayuda de GPS (modelo Garmin III) en mediciones reticulares referidas a la Canoa meridiano 19.

La metodología de adquisición se expresa en el siguiente esquema:

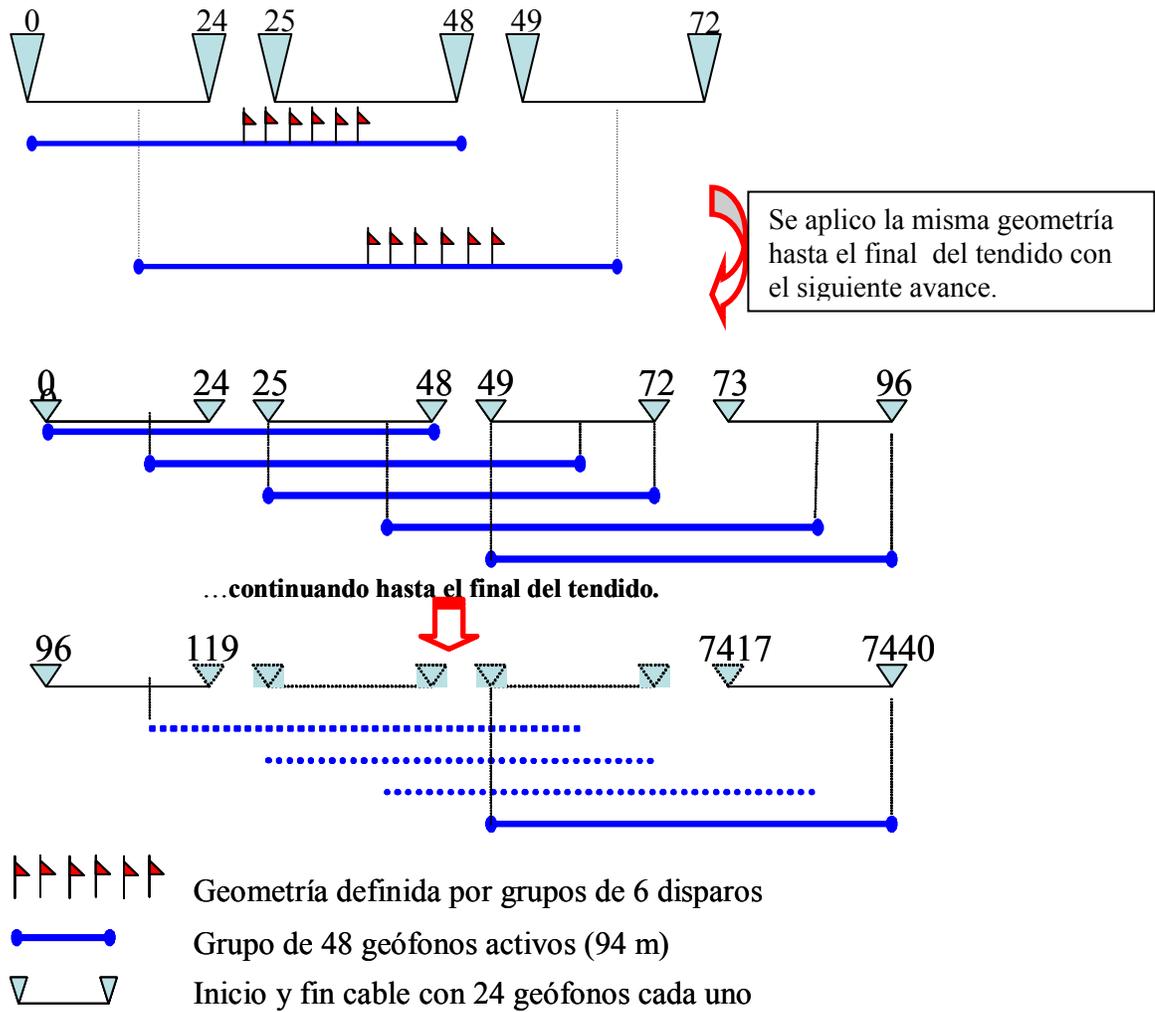


Figura 3.4.3., Esquema de adquisición utilizado para sismica de reflexión.

### **Problemas de adquisición en sísmica somera:**

En la reflexión somera es indispensable la presencia de altas frecuencias para la caracterización del subsuelo, según diferentes autores esta pérdida de energía y resolución de los resultados obtenidos puede estar atribuida a diferentes factores como se citan textualmente:

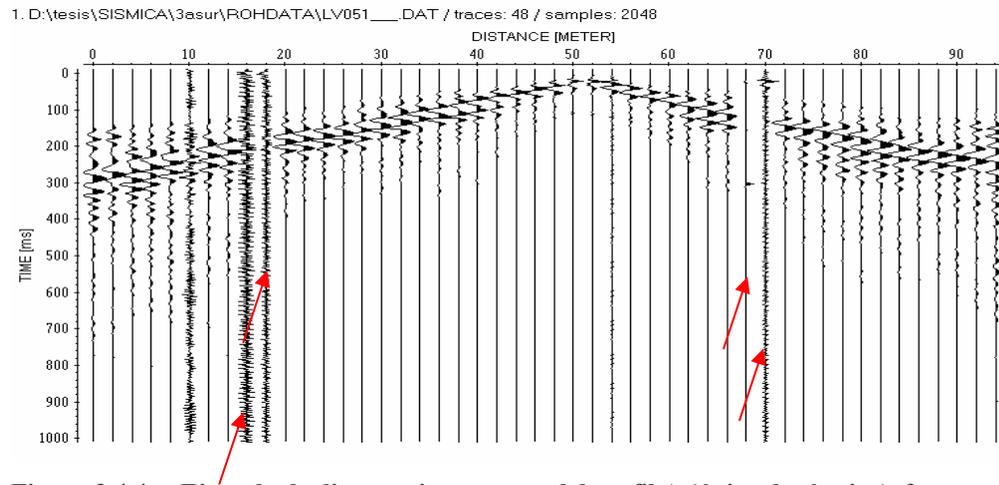
- Según Steeples Don W, 2000: *“En reflexión somera la atenuación tiende a ser muy alta, particularmente cuando el nivel freático es somero atenúa la propagación de la onda (aproximado de 10 m de profundidad). En muchos áreas, el contraste de impedancia acústica no es lo suficientemente fuerte en los bordes de las capas como para reproducir reflexiones sísmicas visibles (grabables)”*
- Según Steeples Don W., 2000: *“La compleja estructura de velocidades de materiales someros, a lo largo del subsuelo con naturaleza heterogénea, tiende a crear un procesamiento e interpretación complejo de los datos, a esto se le anexa el problema de geófonos que estén bien acoplados a la superficie para que las altas frecuencias puedan ser grabables. Aún más las restricciones del ambiente para fuentes de ondas sísmicas someras a veces limita la posibilidad de proveer alta frecuencias de energía”*
- Según Steeples y Millar, 1988: *“En general, nosotros clasificamos rifles de pequeño calibre, armas para búfalo pequeñas y el propano inflamable para la prospección de objetivos someros de 15 m. Para el rango de 15 a 45 m, golpe de mandarina, cápsulas explosivas y armas de búfalo han sido exitosamente usadas. Para profundidades de 45 a 900 m, BESTY, rifle calibre 50, MINISOSIE, caída de masa y altos explosivos son recomendados (Steeple and Miller, 1988).*

### **Se citan entonces los posibles problemas de adquisición:**

1. El suelo presente a lo largo de muchas zonas del perfil es poco consistente lo que puede afectar las lecturas de altas frecuencias en los geófonos, indispensables en la sísmica de reflexión somera.
2. El nivel freático por encima de los 10 m de profundidad (ver análisis de sísmica de refracción) atenúa en gran medida la onda produciendo reflexiones débiles no apreciables en su totalidad por el equipo de registro
3. Un subsuelo de marcada heterogeneidad (estructural y litológica) en cuanto a la continuidad lateral de los estratos y sus velocidades, complica aún más el procesamiento e interpretación de los datos obtenidos.
5. El material para rellenar el hoyo de disparo debe estar muy bien compactado para evitar el exceso de ondas superficiales presente en los datos obtenidos.

### 3.4.4 Metodología de Procesamiento

Los datos obtenidos fueron procesados bajo la licencia para FUNVISIS del programa REFLEXW versión 3, Lo que incluye la importación de los datos, arreglo de geometría y las fases de procesamiento. Una vez adquiridos los datos de los de 155 disparos con una separación de 4 m entre ellos y 48 canales activos se procedió a la eliminación de las trazas malas como se muestra en la figura 3.4.4.a.



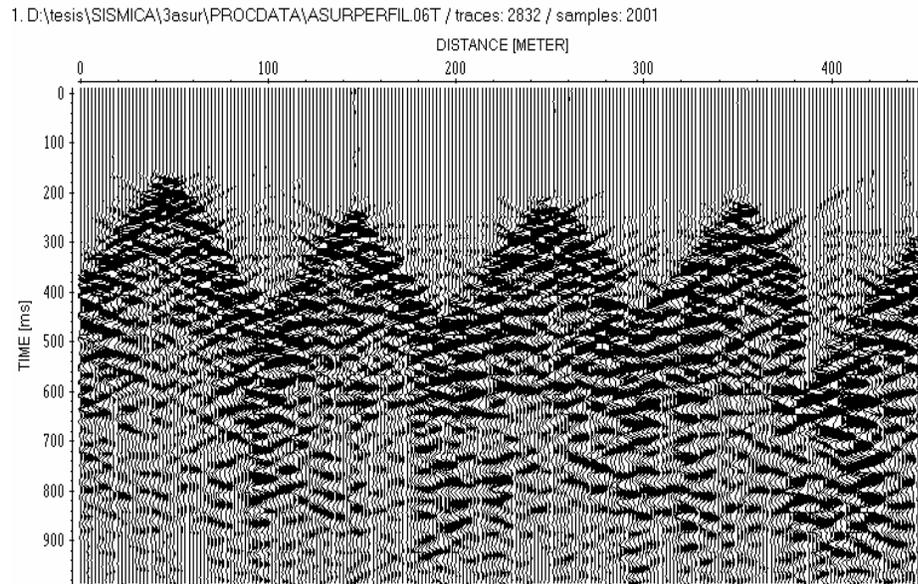
**Figura 3.4.4.a, Ejemplo de disparo sin procesar del perfil A (único de sísmica), fuente ubicada a 51 m desde el inicio del perfil (primer geófono) con 48 canales activos, La Victoria (Edo. Aragua). → Trazas malas a editar.**

Con los datos ya importados (SEG2 → Formato 32 “bit floating point, REFLEX”) se creó un solo perfil único que incluyera todos los disparos **sin apilar**, donde se aplicó en líneas generales la normalización de la energía y supresión de ondas no deseadas como las superficiales según el siguiente orden resumido de procesamiento:

#### **1ra etapa de procesamiento**

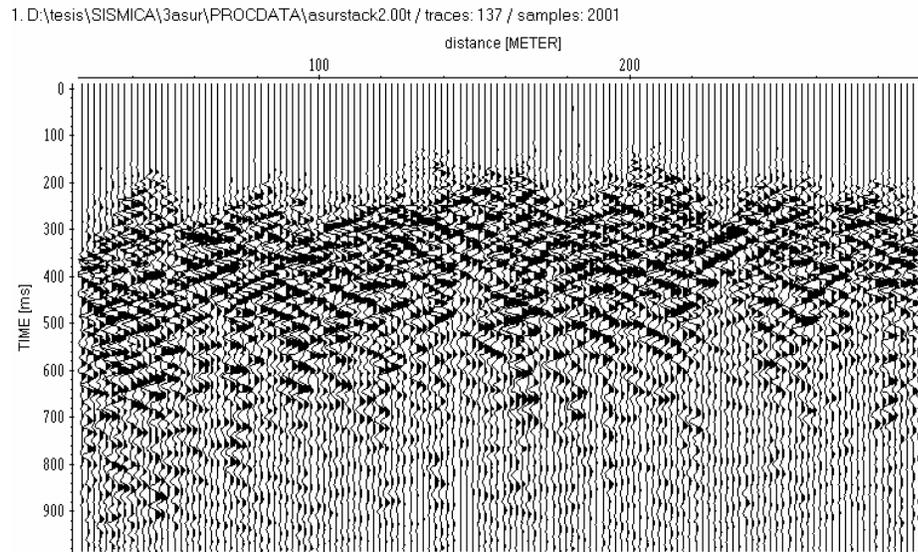
1. Se normalizó la ganancia general de todas las trazas tomando en cuenta la diferencia de OFFSET.
2. Se aplicó el filtro BUTTERWORTH entre 10 – 80 Hz. Según la frecuencia característica para arenas y lutitas.
3. Filtro F.K. (400 – 10000 m/s) eliminando ondas de velocidades no deseadas.
4. Pruebas de filtros 2D, y ganancia manual a profundidad.
5. Se realizó un análisis de semblanza a partir de los CMP, definiendo velocidades de estratos para poder pasar a la etapa del apilamiento.
6. Cada paso se extiende según la claridad de definición que permitan los datos y la búsqueda por el intérprete.

Después de haber desarrollado esta serie de pasos iterativos se presenta parte de la sísmica de reflexión sin apilar (figura 3.4.4.b) como muestra de primera parte del proceso.



**Figura 3.4.4.b, Parte de los datos sísmicos procesados antes de apilar después de haber desarrollado la primera etapa de procesamiento. Perfil A (único de sísmica), incremento de ubicación de fuente cada 4 m, La Victoria (Edo. Aragua).**

Con el análisis de semblanza efectuado se procedió al apilamiento de los disparos (cobertura máx. = 12) como se muestra en la figura 3.4.4.c.



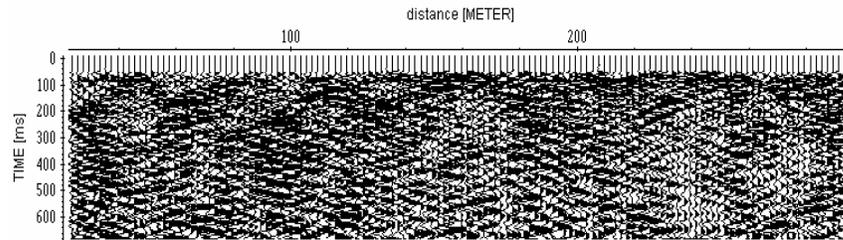
**Figura 3.4.4.c, Perfil A (único de sísmica), parte de los datos sísmicos procesados apilados hasta los 300 m de perfil, incremento entre trazas de 4 m, La Victoria (Edo. Aragua).**

Los datos ya **apilados** se les aplicó la siguiente secuencia de procesamiento resumida:

#### **2da etapa de procesamiento (después de apilar)**

1. Substracción principal de desfase (subtract-mean DEWOW).
2. Aplicación de la corrección estática.
3. Ganancia de energía a profundidad.
4. Remoción de ruido de fondo (back ground removal)
- 5. Cada paso se realizó de manera iterativa hasta obtener los mejores resultados variando diferentes parámetros.**

1. D:\TESIS\SISMICA\3ASUR\PROCDATA\ASURSTACK2.07T / traces: 137 / samples: 1401



2. D:\TESIS\SISMICA\3ASUR\PROCDATA\ASURSTACK2.06T

El la figura 3.4.4.d se puede observar el resultado final de la sísmica, la conversión tiempo – profundidad dependerá del análisis de velocidades realizado por el intérprete.

Finalmente, se jugo con diferentes variantes graficas y de procesamiento para mejorar la calidad del resultado obtenido transformado de tiempo a profundidad real a partir de los modelos de velocidades.

Cabe destacar que este perfil “A” presenta información de todas las herramientas usadas en este proyecto como son VLF, M-34, Magnetismo, Sísmica somera de reflexión y refracción. Completando un total de 5 herramientas de prospección geofísica.

## 3.5 SÍMICA DE REFRACCIÓN

### 3.5.1 Base Teórica

En la sismica de refracción el rayo incidente es refractado críticamente a lo largo de los bordes de la interfase entre dos capas con diferentes velocidades antes de retornar a la superficie. La caracterización de las capas más somera según espesor y velocidades se realiza a partir de la identificación de los tiempos de primera llegada de las ondas P y/o S (Stam, 1962).

El método de refracción hoy en día es usado para la solución de ciertos tipos de problemas, como por ejemplo en la identificación de fallas en el basamento, su profundidad en el tope (si es menor a 30 m) y la identificación de fracturas enterradas o zonas de cizalla en aguas subterráneas en terrenos metamórficos e ígneos.

La **velocidad sísmica** se utilizan como una de las propiedades para la caracterización de diferentes tipos de litología obtenidas de acuerdo a los tiempos de llegada de las ondas registradas en la superficie. La velocidad de propagación define para los geofísicos una cantidad escalar de rapidez de propagación de la onda que caracteriza el medio.

La velocidad sísmica es una función de la densidad del material en el subsuelo y las propiedades elásticas del mismo.

La expresión

$$V = (K / \rho)^{1/2}$$

donde, la velocidad está referida a la onda P o S, K es el parámetro de velocidad efectivo y  $\rho$  es la densidad del medio, relacionando así estos 3 parámetros (Sheriff and Geldart, 1982). Del mismo modo existen ecuaciones que relacionan los módulos de velocidades P y S a partir de constantes que involucran esfuerzos normales y de cizalla,  $\lambda$  y  $\mu$  respectivamente.

$$K = (\lambda + 2\mu)^{1/2}$$

En el caso de cualquier fluido  $\lambda$  será igual a cero por lo tanto la velocidad efectiva de la onda S solo dependerá de  $\mu$ , quedando  $K = \mu^{1/2}$ .

De acuerdo a que las deformaciones son dependientes de las constantes elásticas, se puede expresar una relación entre las velocidades de las ondas P y S definida por el coeficiente de Poisson ( $\sigma$ )

$\sigma = \lambda / 2(\lambda + \mu)$ , expresado en términos de  $V_p$  y  $V_s$  tenemos entonces:

$$(V_s / V_p)^{1/2} = (\frac{1}{2} - \sigma) / (1 - \sigma)$$

La velocidad de onda de cizalla en el subsuelo varía desde cero en los fluidos y gases a un máximo de cerca de un 70% de la velocidad de la onda P en los materiales. El valor del coeficiente de Poisson para rocas sedimentarias es de 0.33, para rocas ígneas

es de 0.25 lo que correspondería a una relación  $V_s$  a  $V_p$  como 1 a  $\sqrt{3}$ , la velocidad de la onda será proporcional al incremento de la densidad (Gardner, et. al. 1974).

Sheriff y Geldart (1982), discuten los efectos de la porosidad, litología, fluidos y profundidad de penetración de la velocidad de onda P. Excepto por los fluidos estos factores afectan a las velocidades de ondas P y S de maneras similares. Ya que la onda P no puede ser propagada en el fluido, un aluvión presentará valores muy similares de velocidad S así este seco o saturado de agua. La rapidez de propagación de onda S cambia ligeramente de acuerdo a la diferencia de densidad entre el aire y agua alojada en los intersticios. Por lo contrario la onda S cambia de velocidad drásticamente ya que se propaga solo a través de la matriz que forma la roca y no a través del agua intersticial. Combinando entonces las ondas P y S resulta en una particular herramienta poderosa según la distinción del nivel de agua y otras características geológicas.

Los rangos de velocidades se asocian a diferentes tipos de litología y condiciones del subsuelo, para la clasificación de los materiales en el subsuelo. Dentro de un estudio en una pequeña área, el rango de velocidad para una roca en particular es generalmente pequeño y ciertamente tipos de rocas pueden ser identificados en bases a sus velocidades características.

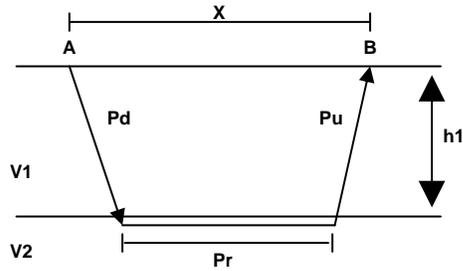
## **CAMINO DE LAS ONDAS REFRACTADAS**

Las ondas P y S pueden ser empleadas en la sismica de refracción. A pesar de la energía que se use la clave de este método es la refracción crítica del rayo en la interfase de dos medios con diferentes velocidades. Cuando el rayo incide en la interfase algo de esta energía es reflejada de vuelta al medio de donde vino inicialmente, otra parte se transmite por la interfase de los medios a mayor profundidad. La ley de Snell define la relación entre el ángulo de incidencia y el ángulo de transmisión con respecto a la normal de la separación entre las dos interfaces. La refracción crítica es la condición en la cual el Angulo refractado es de  $90^\circ$ . Después de refractarse críticamente la onda, esta viaja por el medio mas profundo a la velocidad del mismo pero esencialmente a lo largo del contacto de la interfase. La ley de Snell indica que la refracción crítica solo puede ocurrir en una interfase que muestre un incremento de la velocidad con la profundidad. La refracción de sismica somera tiene gran utilidad en una sección donde la onda p incrementa su velocidad a profundidad en gran parte por la compactación de material no consolidado o agua saturada en la parte más profunda de la sección no consolidada.

### **Refracción en el caso de dos capas**

La mayoría de los textos geofisicos ( Dobrin, 1976) basan sus tratamiento de sismica de refracción en la derivada de la ecuación del tiempo de viaje para la onda crítica refractada en el caso de 2 capas. Sin perder de vista que el trazado de rayo obedece al contraste de velocidades según la ley de Snell y aplicando la relación entre distancia, velocidad y tiempo para calcular el tiempo de viaje a lo largo de cada segmento de la completa trayectoria trazada por el rayo. La Figura 3.5.1.a muestra el

camino de la onda crítica refractada a través de este caso ideal. Las dos capas con velocidades  $V_1$  y  $V_2$  respectivamente son asumidas como homogéneas e isotrópicas.



**Figura 3.5.1.a. Sección transversal del caso ideal para dos capas y el camino del rayo críticamente refractado. Tomado de Lankston 1986.**

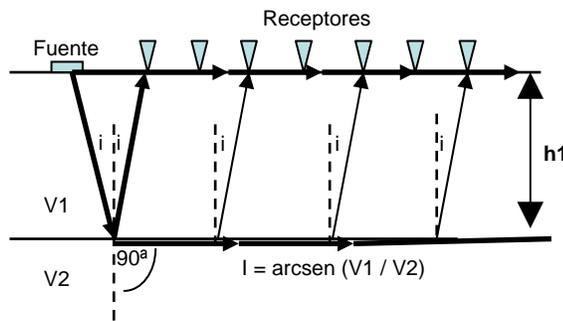
El tiempo requerido por la onda para viajar desde la fuente hasta el receptor puede ser calculado a partir de la distancia del rayo en cada medio y dividiendo cada uno de acuerdo a sus respectivas velocidades de medio sumando un tiempo total de trayectoria. Por simetría el tren de onda ascendente y el descendente son iguales. La longitud de cada una de estos segmentos estará dada por  $Pd$  y  $Pu$ .

$$Pd = Pu = h1 / \cos i_1$$

la longitud del rayo en el segundo medio será  $Pr = x - 2h1 * \tan i_1$ , el tiempo total queda referido entonces a estos tres segmentos.

$$Total = td + tu + tr = x / V2 + 2h1 * \cos i_1 / V1.$$

Esta ecuación define el tiempo total recorrido por el rayo refractado; siendo esta una importante consideración en el perfilaje continuo de un refractor (Figura 3.5.1.b).



**Figura 3.5.1.b. Trayectoria de rayos refractados críticamente para el modelo simple de una interfase a lo largo de la discontinuidad. Tomado de Lankston 1986.**

En el caso de capas múltiples (Figura 3.5.1.c) se parte de este mismo principio tomando en cuenta trayectorias de rayos con un incremento del ángulo de incidencia proporcional a los diferentes aumentos de velocidades de las diferentes capas a

profundidad, subdividiendo los tiempos de viaje de igual manera de acuerdo a cada capa. Teóricamente se pueden simular infinitas capas pero más de tres capas son comúnmente un límite práctico.

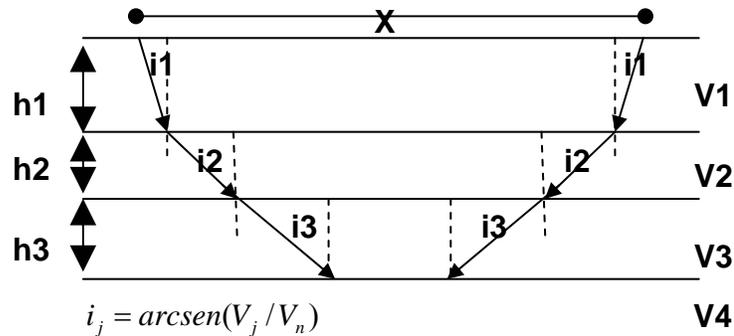


Figura 3.5.1.c. Trayectoria de rayos refractados críticamente para el modelo de 4 capas.

Tomado de Lankston 1986.

Es también importante considerar la relación entre onda refractada y onda directa (Figura 3.5.1.d.) El término distancia crítica es comúnmente confundido con el término distancia de cruce (Sheriff, 1984). Obsérvese la figura que establece estas diferencias sabiendo que la distancia crítica será siempre menor que la distancia de cruce.

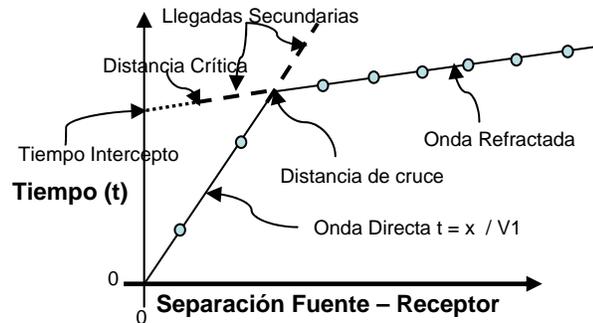


Figura 3.5.1.d, Relación de tiempos de llegada entre la onda directa y la refractada. A partir de la grafica Tiempo de llegada vs. Separación Fuente-Receptor. Tomado de Lankston 1986.

### **3.5.2 Instrumentación**

- Un sismógrafo de 48 canales , Geometrics STRATA VIEW, muestreo: 500  $\mu$ s, Duración: 1024 ms
- Cartuchos calibre 12 rellenos con pólvora (155 disparos)
- SWITCH con entrada de 96 canales por geófono y 48 canales de salida
- 96 geófonos verticales (onda P)
- 2 cables para geófonos con 24 canales cada uno
- 2 extensiones para cable de geófono.

### **3.5.3 Metodología de Adquisición**

Con base en los resultados obtenidos a partir de la prospección magnética, VLF y EM-34 se eligió la ubicación y longitud del perfil de sísmica de refracción. **(ver sección 3.2.3, sección 3.2.3, ubicación idéntica a perfil EM-34).**

El perfil se ubicó en principio y fin con la ayuda de GPS (GARMIN III) en mediciones reticulares referidas a la Canoa meridiano 19.

La metodología de adquisición se expresa en el siguiente esquema:

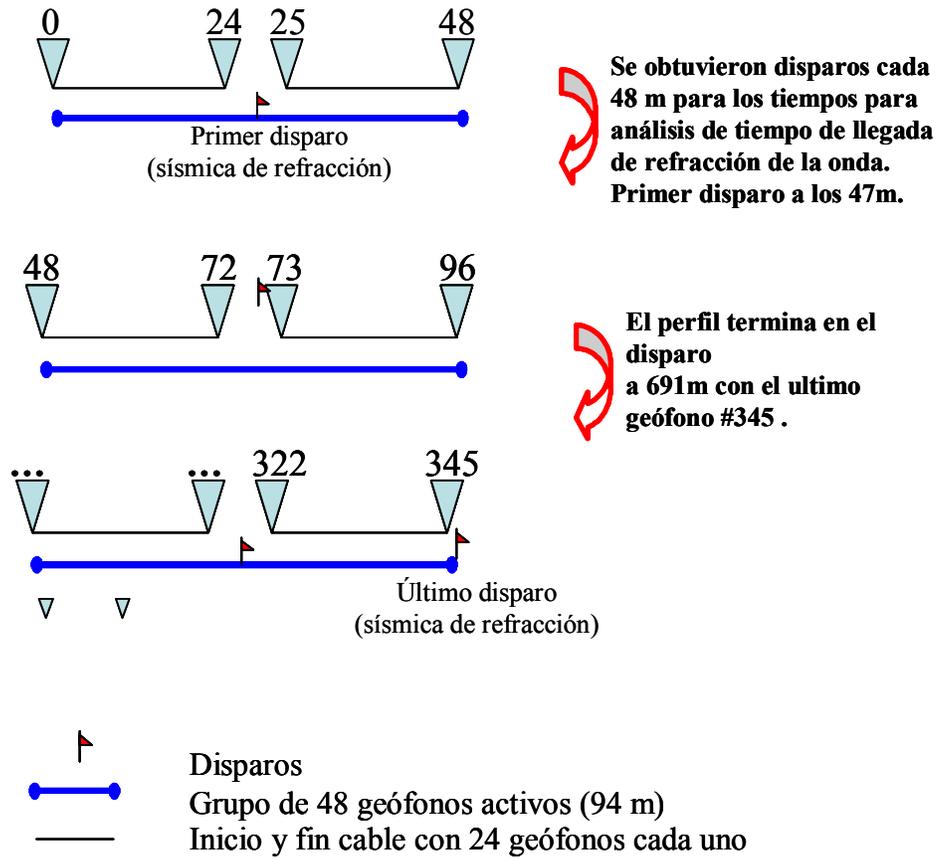
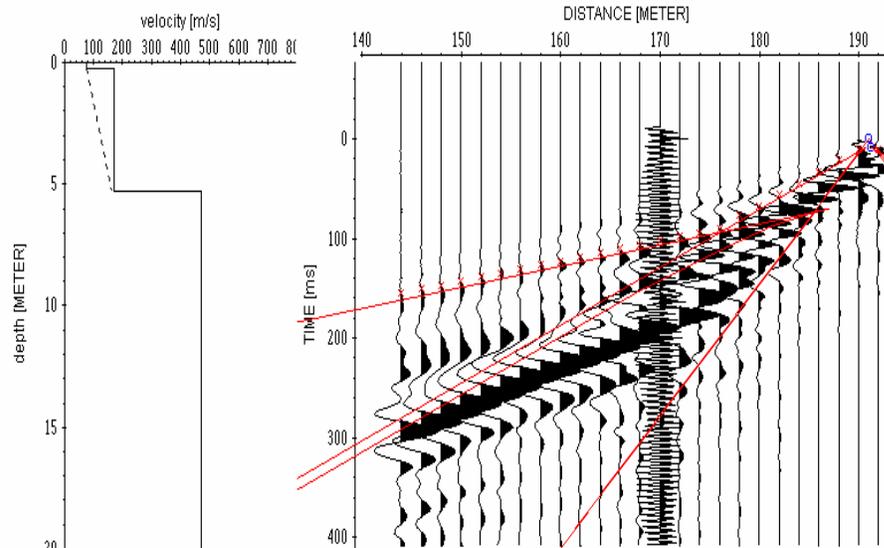


Figura 3.5.3., Esquema de adquisición utilizado para sismica de refracción.

### 3.5.4 Metodología de Procesamiento

El procesamiento de esta sísmica de refracción constó de dos pasos primordiales:

1. Con el programa REFLEX se marcaron las primeras llegadas de las ondas del frente de onda “S” de refracción (PICKS) (figura 3.6.4) y se crearon modelos 1D para cada disparo (14 disparos en total). La onda “P” no fue estudiada en refracción ya que el nivel freático está muy somero no permitió una mayor penetración (ver resultados de sísmica de refracción).



**Figura 3.5.4., Registro de disparo en posición a 191 m. Observe modelo de velocidades unidimensional. Las líneas rojas definen las velocidades aparentes de onda S siguiendo los “Picks” previamente seleccionados, La Victoria (Edo. Aragua).**

2. Obtenidos los PICKS de cada disparo se importaron los datos al programa RAYINVR de ambiente LINUX (lenguaje UNIX) de procesamiento donde se generó un modelo iterativo con parámetros variables de espesor de capa, velocidad en el tope y velocidad en la base. Estos tiempos de llegada de onda S refractada permitieron crear un modelo 2D con espesor y velocidades en tope y base para las capas más someras.

Según Lankston R., 1986: “Cada método (sísmica de reflexión, sísmica de refracción) tiene su fuerza relativa, el método de refracción es una clara elección para solucionar problemas de atenuación de la señal, por ejemplo, la propagación de ondas en el basamento a profundidades menores de 30 m y el nivel freático también (menos de 30 m) puede identificarse mediante esta metodología y localizar fracturas de cizalla y profundas no apreciables en la reflexión debido a la atenuación de la onda en el nivel freático”.

#### 4.1 Resultados y análisis de la prospección Magnética

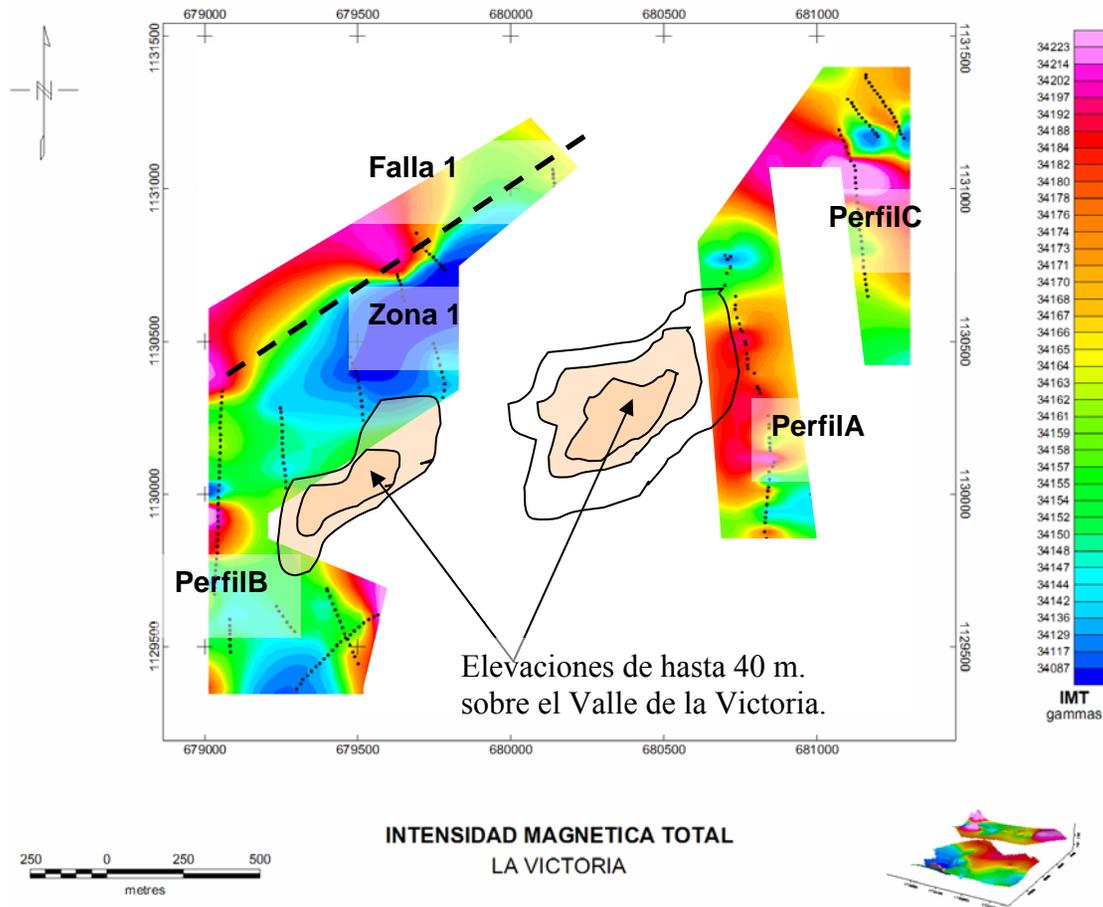
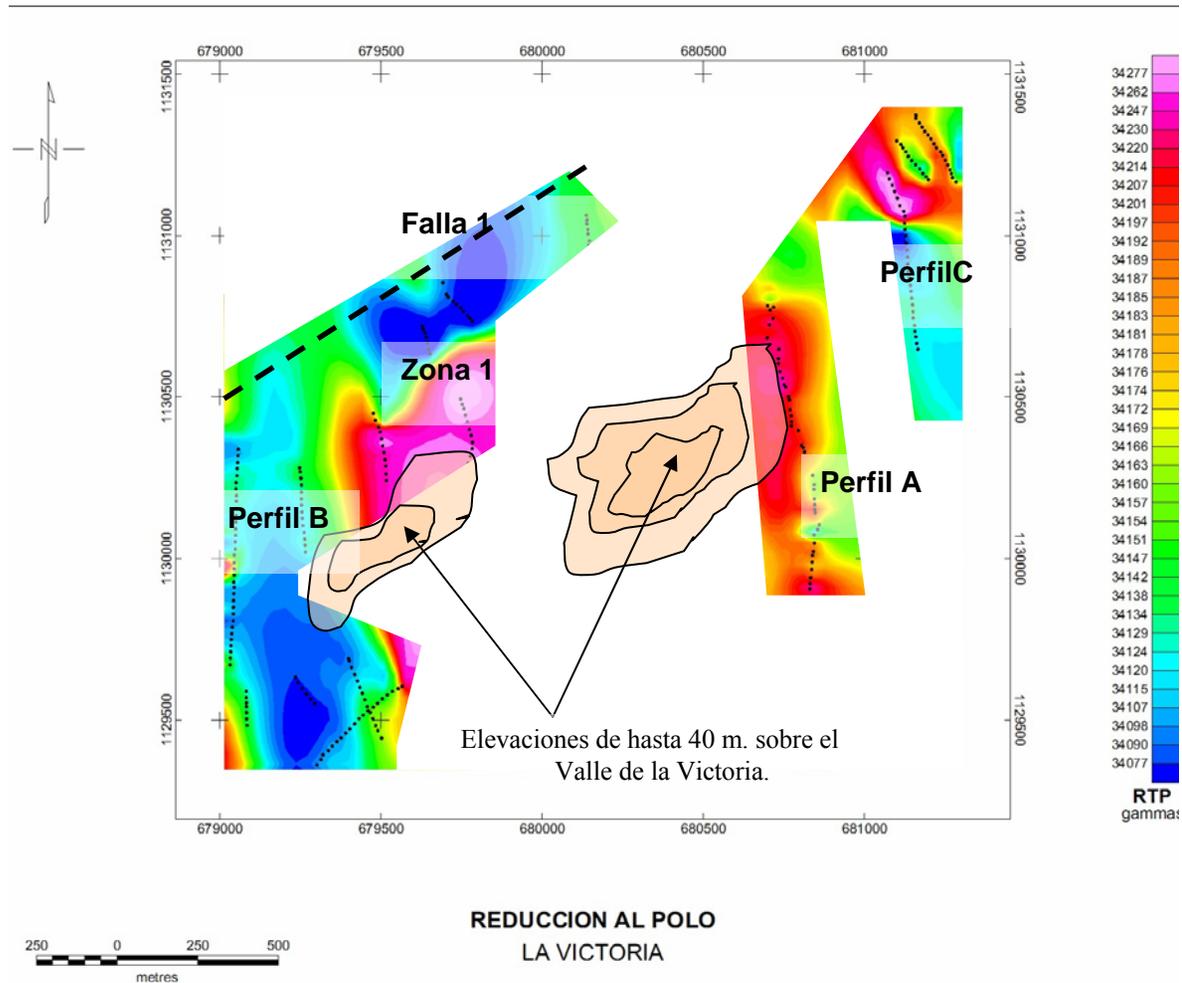


Figura 4.1.1, Mapa de intensidad magnética total en el Valle de la Victoria, (Hacienda la Quebradita)

Las mediciones magnéticas en cada los perfiles presentan una cobertura parcial de la zona con aspectos interesantes a resaltar como intensidades magnéticas que oscilan entre 34227 y 34087 Gammas, con presencia de cambios bruscos irregulares asociados al subsuelo (basamento). En la **zona 1** se puede apreciar un mínimo magnético registrado por varios perfiles adyacentes. Al Noroeste de esta zona 1 se aprecia una elevación repentina de IMT (falla 1). Los Perfiles “A” y “B” ubicados cerca de las elevaciones topográficas presentan variaciones repentinas de IMT a lo largo de los mismos asociados de igual manera a irregularidades del basamento. En la zona Noreste del Mapa (**Perfil C**) se observan de igual manera saltos anómalos (fallas) pero no definen una tendencia clara como en el caso de la Zona 1 producto de la escasez de datos presentes por problemas de acceso.

Para la correcta ubicación de estas fallas se creó el mapa de reducción al polo (figura 4.2) corrigiendo las lecturas según latitud y longitud llevadas al polo magnético terrestre.

Del mismo modo los perfiles A y B se presentan según IMT y derivada vertical para identificar las posibles fallas.



**Figura 4.1.2, Mapa de anomalía magnética con corrección por reducción al polo aplicada en el Valle de la Victoria, (Hacienda la Quebradita)**

Obsérvese como la **falla 1** se ubica ahora más hacia el norte coincidiendo con la falla de La Victoria ubicada anteriormente a partir de estudios geológicos. Las anomalías presentes en los perfiles realizados se ubican realmente más hacia el norte de las identificadas en el mapa de intensidad magnética total. Sin embargo se destacan los cambios bruscos de anomalías a lo largo de los perfiles “A”; “B”; “C”.

Los perfiles A y B presentan cambios anómalos en las zonas intermedias asociados a fallas. Para la identificación de las mismas véase figura 4.1.3. referida a la derivada vertical e intensidad magnética total.

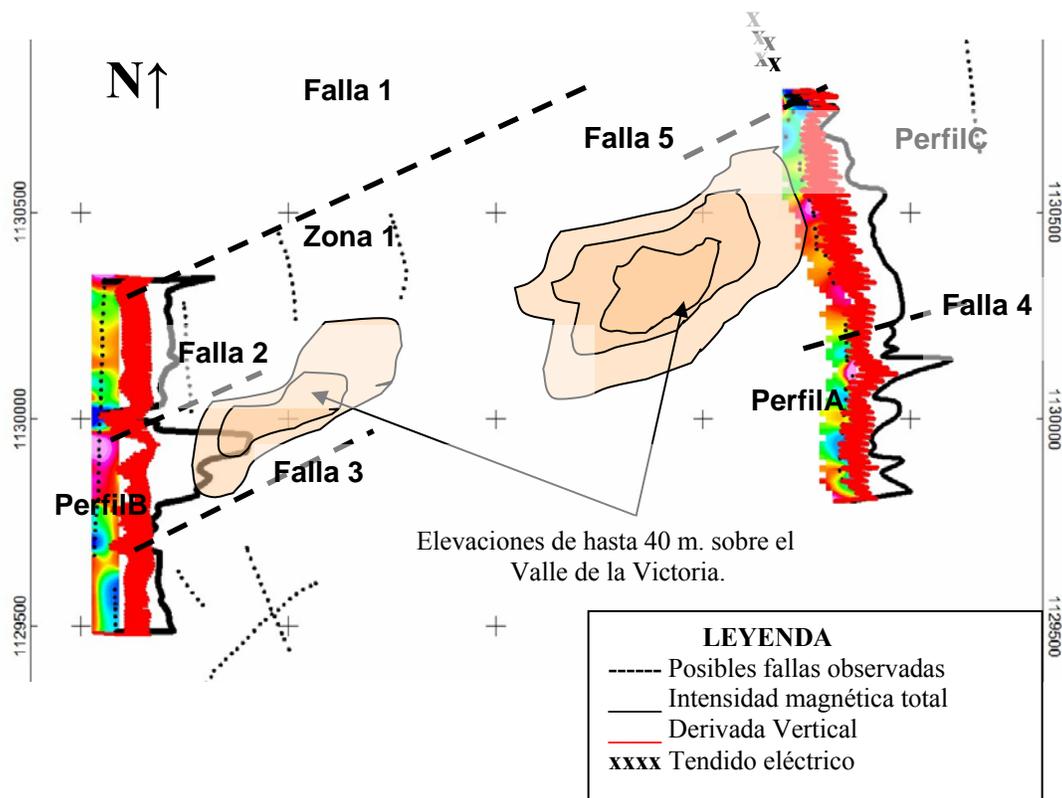


Figura 4.1.3 Perfiles “A” y “B” de acuerdo a derivada vertical e intensidad magnética total de las anomalías calculadas en el valle de La Victoria (Hda. La Quebradita).

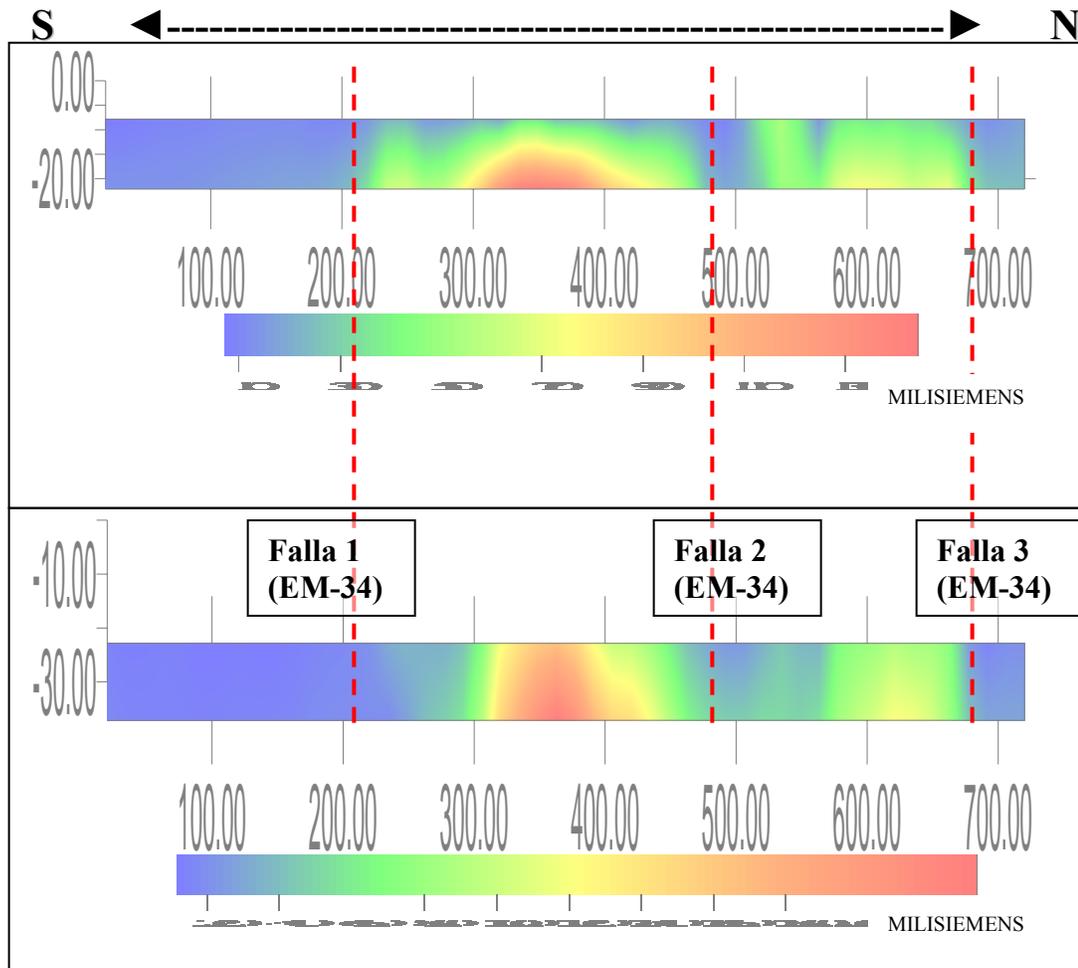
El perfil “B” presenta fallas numeradas como “1”, “2” y “3” (figura 4.1.3). Se puede observar que tanto la derivada vertical como la IMT (intensidad magnética total) presentan cambios considerables en su continuidad.

El perfil “A” presenta una falla inferida identificada con el número 4 infiriendo la presencia de una falla. Sin embargo se observa en la zona norte del mismo perfil una disminución de las intensidades magnéticas hasta conseguir en el extremo un descenso brusco pudiéndose considerar como una falla (falla nº 5), esta conclusión no puede aseverarse ya que podría existir un efecto de borde pero con las herramientas geofísicas posteriores a analizar (VLF, EM-34, Sísmica de Reflexión y Refracción) se puede correlacionar la información y corroborar la ubicación de la anomalía producida por la falla (ver figura 5.1, ubicación de perfiles).

Obsérvese que la dirección de las fallas identificadas es paralelo a las elevaciones y la **falla 1** es concordante con la falla de La Victoria lo que hace suponer que se trata de un mismo sistema de fallas.

Es importante destacar que el perfil “A” no pudo ser continuado hacia el norte debido a la presencia de un tendido eléctrico a lo largo del mismo arrojando mediciones inconsistentes.

## 4.2 Resultados y análisis de la prospección de Electromagnética en el dominio del frecuencia (EM-34)



**Figura 4.2.1** Resultado del método electromagnético en el dominio de la frecuencia (EM-34). Dipolo horizontal con lectura de conductividades a 7,5 y 15 m de profundidad (arriba) y Dipolo vertical con lecturas de conductividades a 15 y 30 m de profundidad, para el perfil A situado en el valle de la Victoria.

Los dipolos verticales y horizontales presentan un comportamiento muy similar identificando las altas conductividades (arcilla húmeda) y las zonas de falla 1, 2 y 3 (EM-34) de poca conductividad (sedimentos de grano medio a fino sin saturación de agua) en lugares idénticos para cada perfil.

Obsérvese la escala de conductividades (milisiemens) como a mayor profundidad se incrementan estos valores por la cercanía al nivel freático (capa conductiva).

Analizando los valores de conductividad  $1 \text{ ohm.m} \equiv (1/\text{milisiemens}) * 1000$ , se ubicaron los diferentes materiales a partir de la tabla de resistividades en ohm.m (ver apéndice A.1), consiguiendo los siguientes resultados.

- 240 milisiemens = 4 ohm.m claramente se identifica el nivel freático desde los 7,5 profundidad. Se debe ser cuidadoso en la ubicación de estos valores ya que la presencia de agua aumenta en gran medida la conductividad por tal motivo se debe analizar la continuidad del registro a diferentes profundidades.
- 10 - 40 milisiemens = 100 -25 ohm.m, este rango de resistividades identifica a un material sedimentario como la arcilla, recordemos que agregado a este resultado se debe tomar en cuenta la cercanía del agua infiltrada que puede afectar las mediciones y alterar valores de resistividades en materiales sedimentarios como la arenisca.

Estos valores de conductividad son aparentes ya que el equipo trabaja sobre la asunción de capas continuas y horizontales para registrar valores reales. Por tal motivo las resistividades no pueden establecerse como un valor absoluto debido a la deformación de las capas y la composición del medio (subsuelo) no son un caso anexa errores a las mediciones.

Se identificó un comportamiento similares entre la respuesta del dipolo vertical y horizontal con altas conductividades (arcilla húmeda) y poca conductividad (sedimentos de grano fino) en lugares idénticos para cada perfil, incrementándose la conductividad a los 7,5 m de profundidad aproximadamente.

Las diferentes profundidades de este nivel freático evidencian deformaciones de las capas sedimentarias producidas por el sistema de falla presente en el Valle de la Victoria.

### 4.3 Resultados y análisis de la prospección de Electromagnética

#### 4.3.1 Resultados y análisis de la prospección de Electromagnética de muy baja frecuencia (VLF). Zona de LA VICTORIA

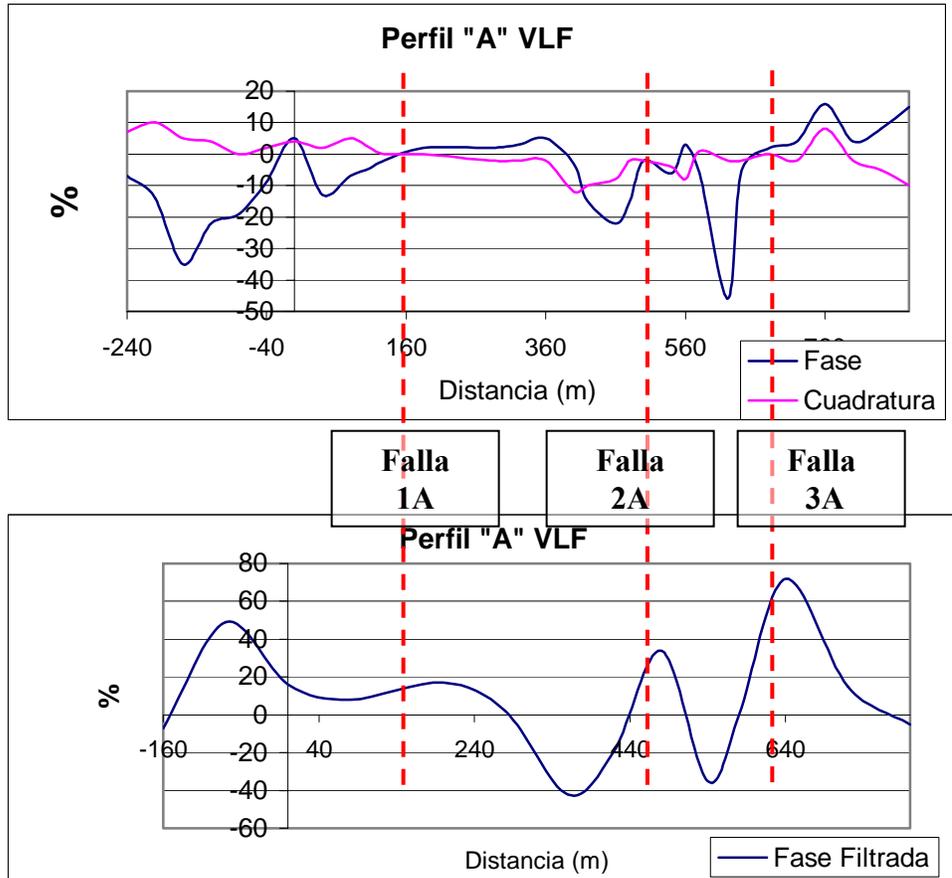
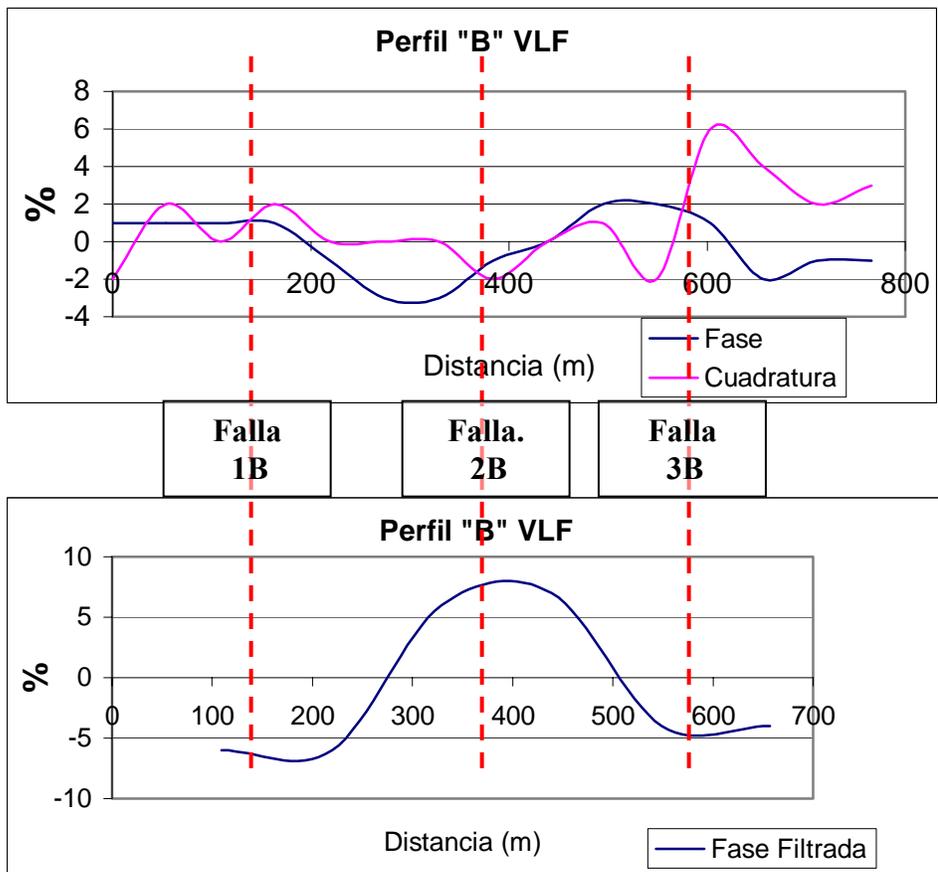


Figura 4.3.1.a Comportamiento en fase y cuadratura (arriba) y filtro de fase (abajo) del campo electromagnético registrado para el perfil A situado en el valle de la Victoria.

Para la identificación de fallas a partir de la herramienta VLF se utilizaron dos graficaciones para cada perfil como se muestra en la figura 4.3.1. Se observan anomalías coincidentes tanto en el cruce de fase y cuadratura del campo electromagnético registrado como para la fase filtrada. Siguiendo este patrón se identificaron 3 discontinuidades 2 de ellas (a 450 y 630 m. del perfil) muy marcadas en la fase filtrada y una solamente muy débil en la fase filtrada pero clara en fase y cuadratura a los 160 m del perfil.

La falla numero 3 presenta el salto de anomalía más resaltante y se ubica como la falla de La Victoria según los estudios geológicos realizados



**Figura 4.3.1.b** Comportamiento en fase y cuadratura (arriba) y filtro de fase (abajo) del campo electromagnético registrado para el perfil B situado en el valle de la Victoria.

A semejanza del perfil "A" para el perfil "B" VLF se utilizaron dos graficaciones para cada perfil como se muestra en la figura 4.3.2. Se observan anomalías coincidentes tanto en el cruce de fase y cuadratura del campo electromagnético registrado como para la fase filtrada en la falla "2B".

Se identificaron 3 fallas resaltantes la graficación de fase y cuadratura del campo (figura 4.3.1.b). Aunque la fase filtrada no evidencia las fallas "1B" y "3B" debido a la falta de información en los extremos del perfil. Cabe destacar que la anomalía 3A y 3B presentan un comportamiento similar posiblemente producto de la falla de la Victoria.

Obsérvese las fallas ubicadas en los perfiles VLF –A y VLF-B y su proyección sobre el ortofotomapa.

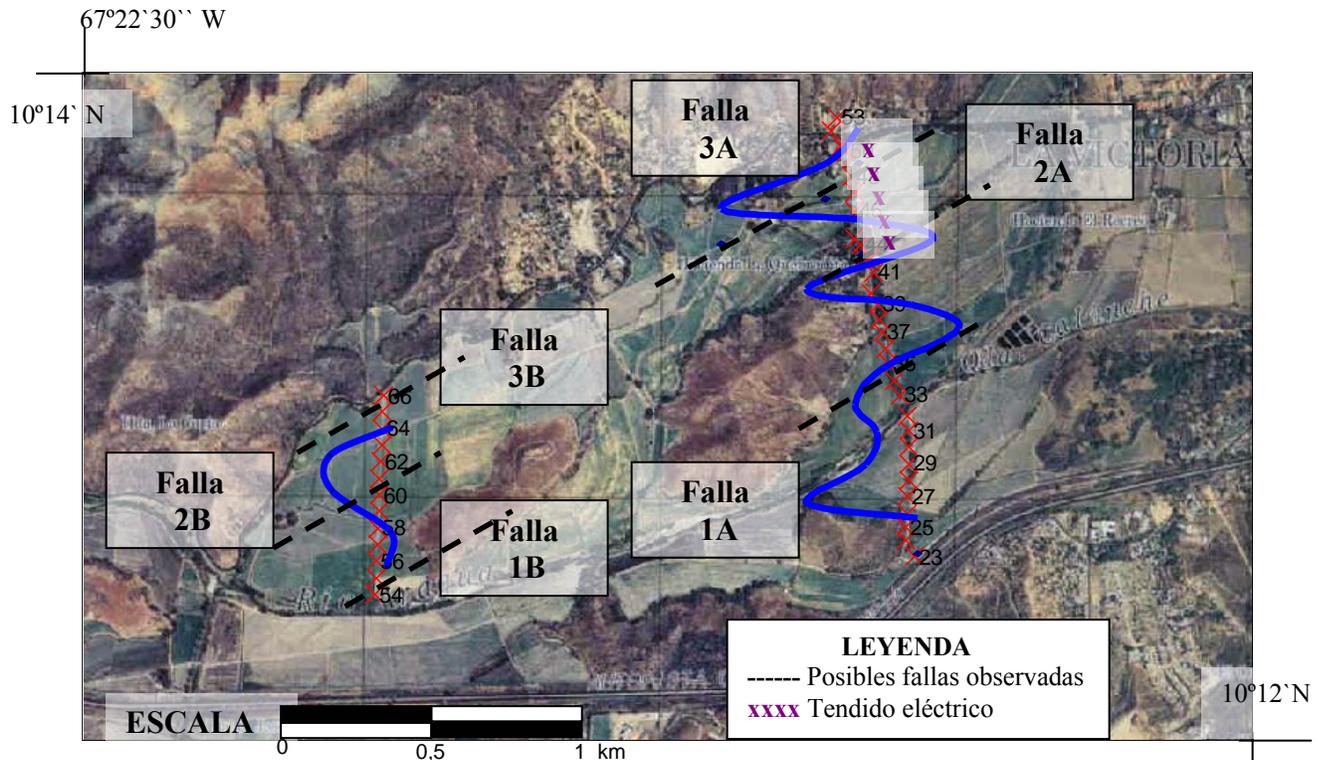


Figura 4.3.1.c Comportamiento de la fase filtrada (VLF) ubicada directamente sobre el ortofotomapa para la identificación de las fallas sobre el valle de la Victoria.

Una vez ubicadas las fallas se observa claramente que las numero **3A** y **3B** podrían presentar una continuidad identificando a la falla de la Victoria. La anomalía **3A** se ha identificado en una zona donde existe un tendido eléctrico por lo tanto no puede asegurarse la existencia de la misma. Sin embargo los extremos norte de ambos perfiles presentan una respuesta similar lo que hace clasificar la anomalía **3A** como falla de la Victoria.

Las fallas **1B** y **2A** identifican una partición del bloque levantado a partir de los esfuerzos compresivos y extensivos presentes en el valle como consecuencia del sistema de fallas presentes en el valle de la Victoria (falla dextral de La Victoria).

### 4.3.2 Resultados y análisis de la prospección de Electromagnética de muy baja frecuencia (VLF). Zona de Santa Lucía

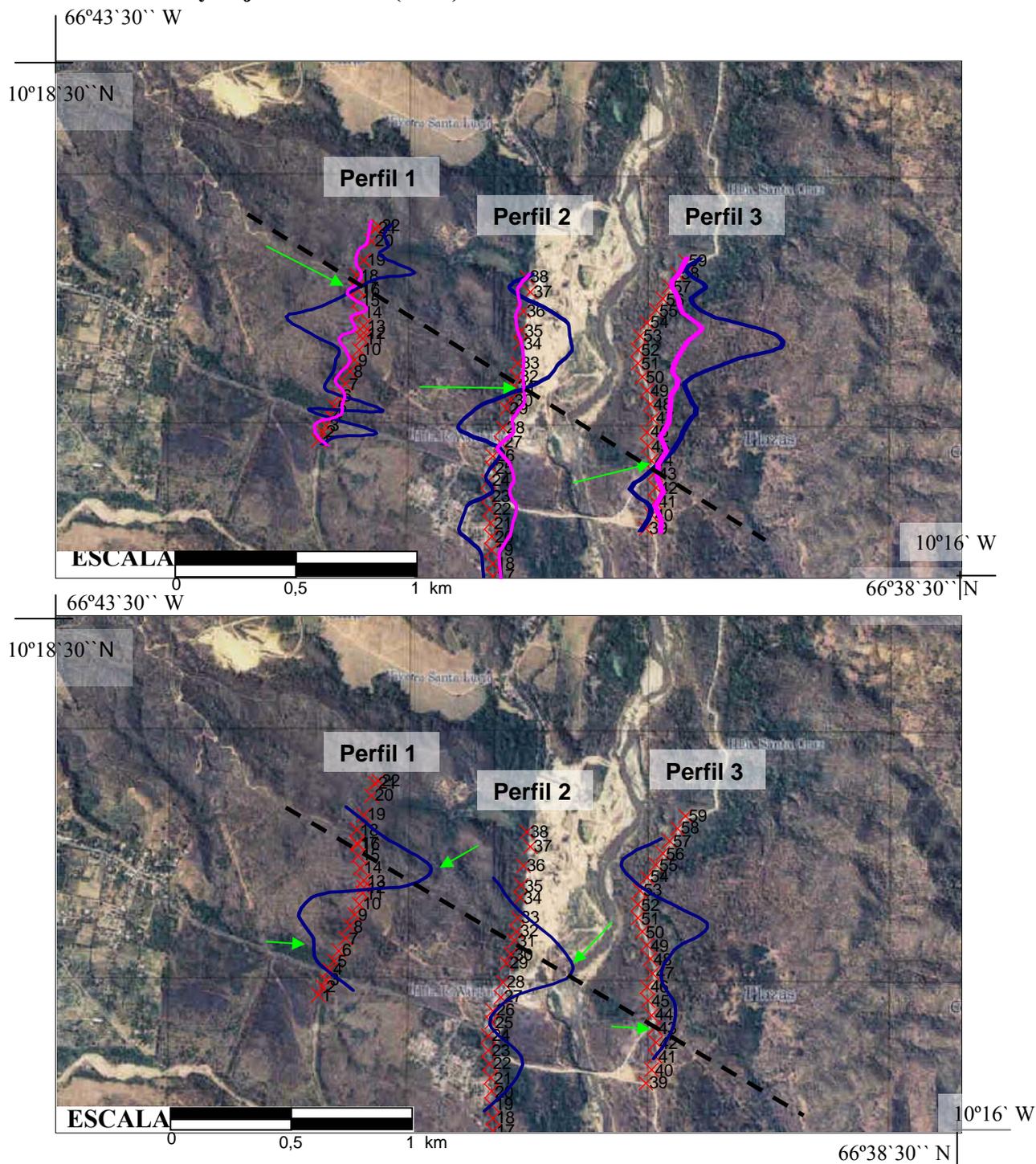


Figura 4.3.2 Comportamiento en fase y cuadratura (arriba) y filtro de fase (abajo) del campo electromagnético registrado para los perfiles 1, 2 y 3 situado en el valle de Santa Lucía, Graficados directamente sobre la ventana de estudio. La línea discontinua representa la posición inferida de la falla.

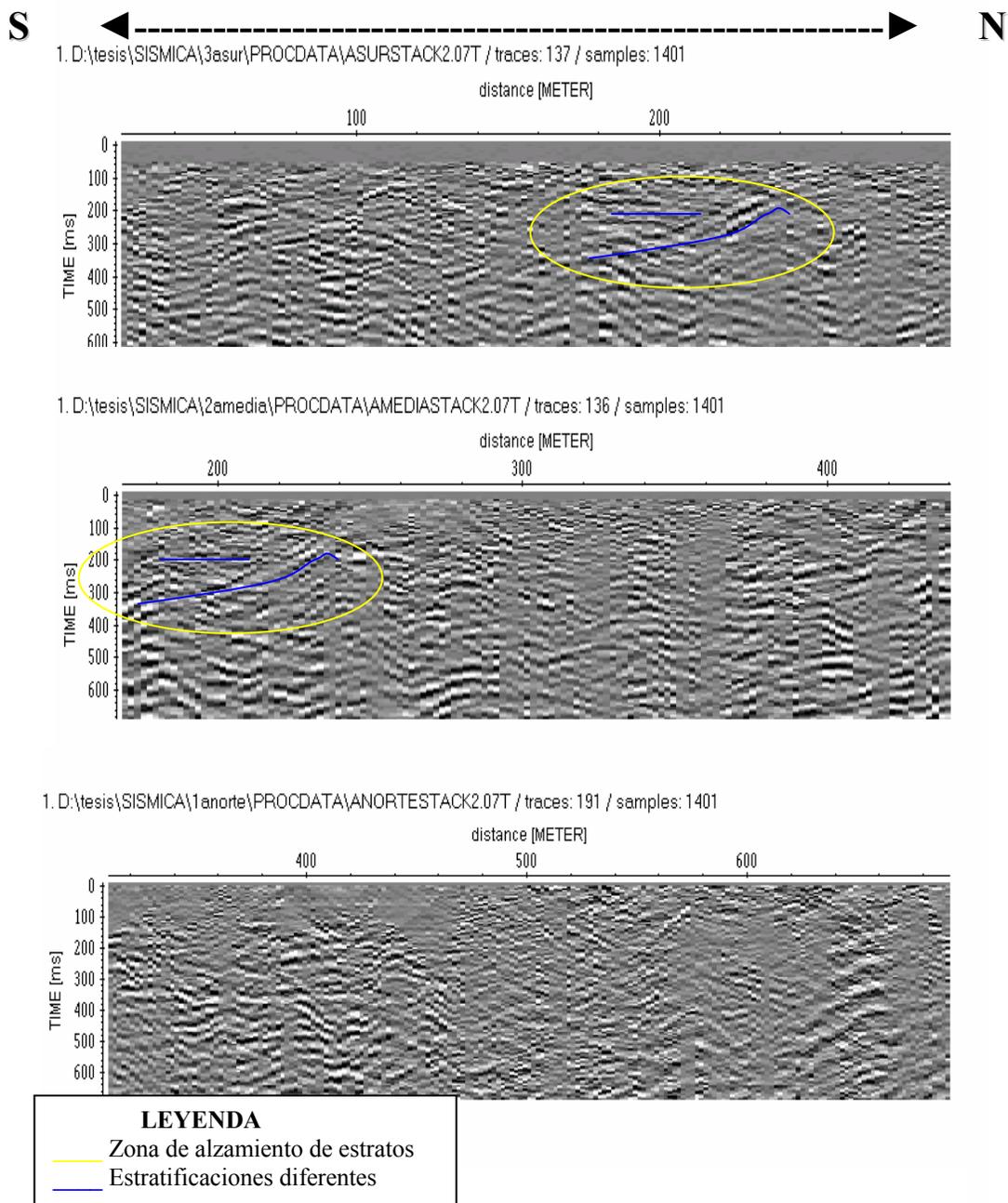
La proyección directa de los perfiles referenciados geográficamente (Programa MapInfo, versión 6.5), permite la identificación de las anomalías presentes a partir de las estaciones ubicadas por GPS. Ver Apéndice E, coordenadas de perfiles y apéndice B para gráficos con escala porcentual de variación en fase y cuadratura.

En este caso de tres perfiles paralelos presenta de manera clara el comportamiento de los bloques elevado (norte) y deprimido (sur) identificando a partir del cruce de la fase y la cuadratura la zona de falla (flechas verdes) según el campo registrado a lo largo de cada perfil.

En el extremo sur del perfil 1 (estación No. 4) se observa un comportamiento característico de falla lo que hace suponer que una extensión de los perfiles 2 y tres hacia el Sur de la ventana de estudio podría identificar una falla con comportamiento similar a la ya identificada según el sistema “Pull-Apart” en la cuenca del Tuy descrito por AUDEMARD F.,(1985).

En la zona de estudio se identifica una falla NO-SE que corresponde al una de las fallas normales del sistema”Pull-Apart”. Donde el bloque del Sur esta elevado con respecto al bloque del norte.

#### 4.4. Resultados y análisis de la prospección a partir de la Sísmica de Reflexión



**Figura 4.4.1** Resultado de la sísmica de reflexión procesada en tres segmentos con el programa de REFLEXW versión 3, para el perfil A (sísmico) situado en el valle de la Victoria.

- Segmento 1, de 0 a 300 m, 137 trazas, 1401 muestras por traza. (arriba)
- Segmento 2, de 180 a 420 m, 136 trazas, 1401 muestras por traza.(medio)
- Segmento 3, de 300 a 680 m, 191 trazas, 1401 muestras por traza.(abajo)

**Fuente:** rifle con cartuchos de pólvora calibre 12.

**Separación de geófonos:** 2 m

**Incremento de disparos:** 4 m

**Número de canales activos por disparo:** 48 (1 geófono por traza)

Los gráficos de sismica de reflexión procesada no se presentan de manera clara en cuanto a la identificación de estratos y fallas. Sin embargo a los 200 m aproximadamente (véase segmentos 1 y 2, figura 4.4.1) se definen dos direcciones de estratos encontradas lo que puede responder a un levantamiento pronunciado del basamento (ver apéndice D.1 sobre segmento 1 transformado a profundidad a partir de las velocidades registradas en el análisis de semblanza).

La existencia de una falla en esa zona puede ser inferida a partir de la sismica de refracción según los tiempos de primera llegada de onda que definen profundidad y espesor de las primeras capas (Figura 4.5.1), sin embargo el análisis de EM-34 marca con claridad la discontinuidad de resistividades en la zona referida.

Los segmentos 2 y 3 se presentan de manera muy confusa sin poder crear una interpretación del subsuelo, debido a problemas al momento de la adquisición asociados a la baja energía de la fuente (calibre 12) y la energía disipada en el nivel freático menor a 10 m de profundidad.

Los cartuchos de disparo calibre 12 cargados (compactados manualmente) no transmiten la energía necesaria para solucionar este tipo de inconvenientes en el subsuelo, quedando como resultado final una onda débil atenuada con el nivel freático somero en un subsuelo con marcadas heterogeneidades laterales y geófonos en algunas zonas no bien acoplados al subsuelo por superficies poco consistente (ver sección 3.4.3, problemas de adquisición de datos en sismica somera).

#### 4.5. Resultados y análisis de la prospección a partir de la Sísmica de Refracción

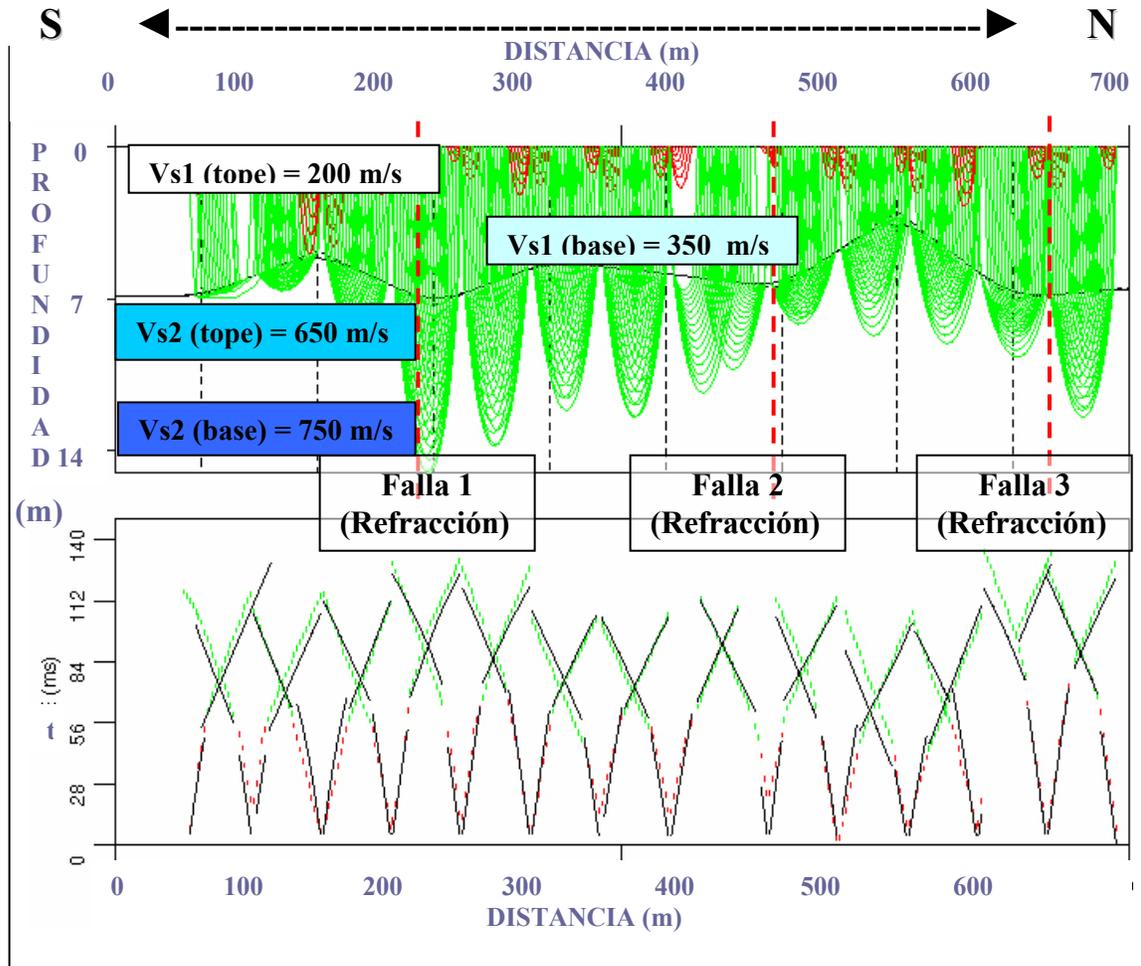


Figura 4.5.1 Resultado del FOWARD MODELING para sísmica de refracción procesado mediante el trazado de rayos en el programa RAYINVR (plataforma LINUX, lenguaje UNIX), mediante las primeras llegadas de ondas refractadas tipo S, para el perfil “A” (sísmico) situado en el valle de la Victoria.

En la inversión de los tiempos de llegada de refracción para la onda S, se identificaron solo dos capas, la primera con espesor y velocidades definidas como se muestra en el modelo a partir de la inversión sísmica y la segunda solo logro identificar las velocidades a lo largo de la capa, ya que la longitud del tendido no permitió la recepción de ondas más lejanas que definieran una tercera capa (figura 4.2.1).

Se identifican 3 zonas de deformación a partir de los diferentes espesores de la primera capa a lo largo del perfil fallas 1,2 y 3. Estas asunciones pueden ser verificadas en el análisis integrado a partir de la interpretación de otras herramientas de prospección utilizadas en el mismo perfil “A” que alcanzan mayor profundidad de prospección.

Tomando en cuenta la cita textual, primeramente se intentaron identificar los tiempos de llegada de la onda P, pero la segunda capa refractada solo identificaba el nivel freático a menos de 10 m de profundidad con velocidades de onda P 1700 y 200 m/s (ver apéndice A.2) correspondiente a material de grano medio a fino saturado de agua (nivel freático). El interés de definir zonas de posibles discontinuidades y espesores reales de la primera capa solo pudo realizarse a partir de los tiempos de llegada de las ondas S que no se propagan en líquido por ser de corte o cizalla.

CAPA 1	Distancia (m)	0	50	140	220	300	380	450	540	620	700
	Velocidad tope (km/s)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.18	0.25	0.20	0.20
	Distancia (m)	0	100	150	200	250	280	300	400	470	500
	Velocidad base (km/s)	0.30	0.40	0.40	0.30	0.30	0.35	0.30	0.35	0.30	0.30
CAPA 2	Distancia (m)	0	50	140	220	300	380	450	540	620	700
	Profundidad (m)	6.90	6.90	4.80	7.30	5.25	5.85	6.50	3.00	7.00	6.50
	Distancia (m)	0	50	140	220	300	380	450	540	620	700
	Velocidad tope (km/s)	0.55	0.60	0.65	0.55	0.65	0.65	0.70	0.65	0.60	0.65
	Distancia (m)	0	50	140	220	300	380	450	540	620	700
	Velocidad base (km/s)	0.65	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.75	0.80	0.65	0.75

**Tabla 4.5.1 Velocidades S (tope y base) y espesor de la primera capa obtenido a los largo del perfil de sísmica de refracción, perfil "A" (sísmico) situado en el valle de la Victoria.**

A partir de las velocidades de onda S obtenidas (tabla 4.5.1) en el tope y la base de las capas se realizó un comparación con una tabla empírica (ver apéndice A.2) para la identificación del material sedimentario correspondiente en cada capa.

La primera capa presenta velocidades entre 200 y 400 m/s lo que identifica en comparación con la tabla empírica una primera capa conformada por sedimentos no consolidados de arena de grano medio a fino (seca) y/o arcilla.

La segunda capa identificada presenta velocidades entre 550 y 850 m/s lo que corresponde a velocidades de arenisca medianamente consolidadas debido a la presión ejercida por la capa superior.

## 5. Análisis integrado de las interpretaciones realizadas

Para un estudio integrado de información geofísica se presentan ubicados cada uno de los perfiles (figura 5.1) adquiridos según la herramienta de prospección utilizada (Apéndice E, coordenadas de perfiles).

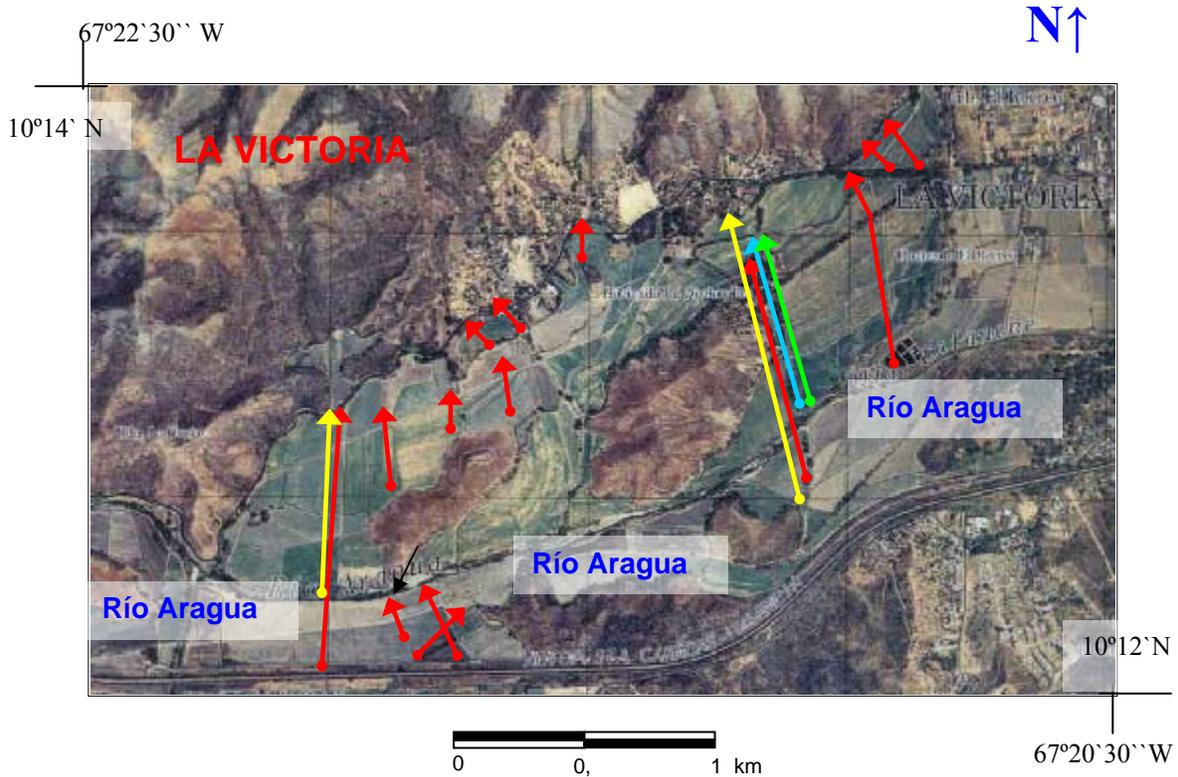


Figura 5.1, Ubicación de los perfiles adquiridos por las diferentes herramientas geofísicas  
Tomada del ortofotomapa 6746-IV-SE escala 1:25000 (Edo. Aragua),

### LEYENDA:

- ➔ Perfiles magnéticos adquiridos.
- ➔ Perfiles VLF adquiridos.
- ➔ Perfil EM-34 adquirido.
- ➔ Perfil de sísmica de reflexión y refracción adquirido.

El análisis integrado de los datos se realiza para el solapamiento de información entre las repuestas obtenidas por las diferentes herramientas. De este modo se presentan entonces:

- Perfil “B” del valle de La Victoria (edo. Aragua)
- Perfil “A” del valle de La Victoria (edo. Aragua)
- La zona del valle de Santa Lucía (edo. Miranda) no presenta análisis integrado ya que solo se utilizó una sola herramienta de prospección, VLF (VERY LOW FREQUENCY).

## 5.2. Análisis integrado del Perfil "B" en el valle de La Victoria (edo. Aragua)

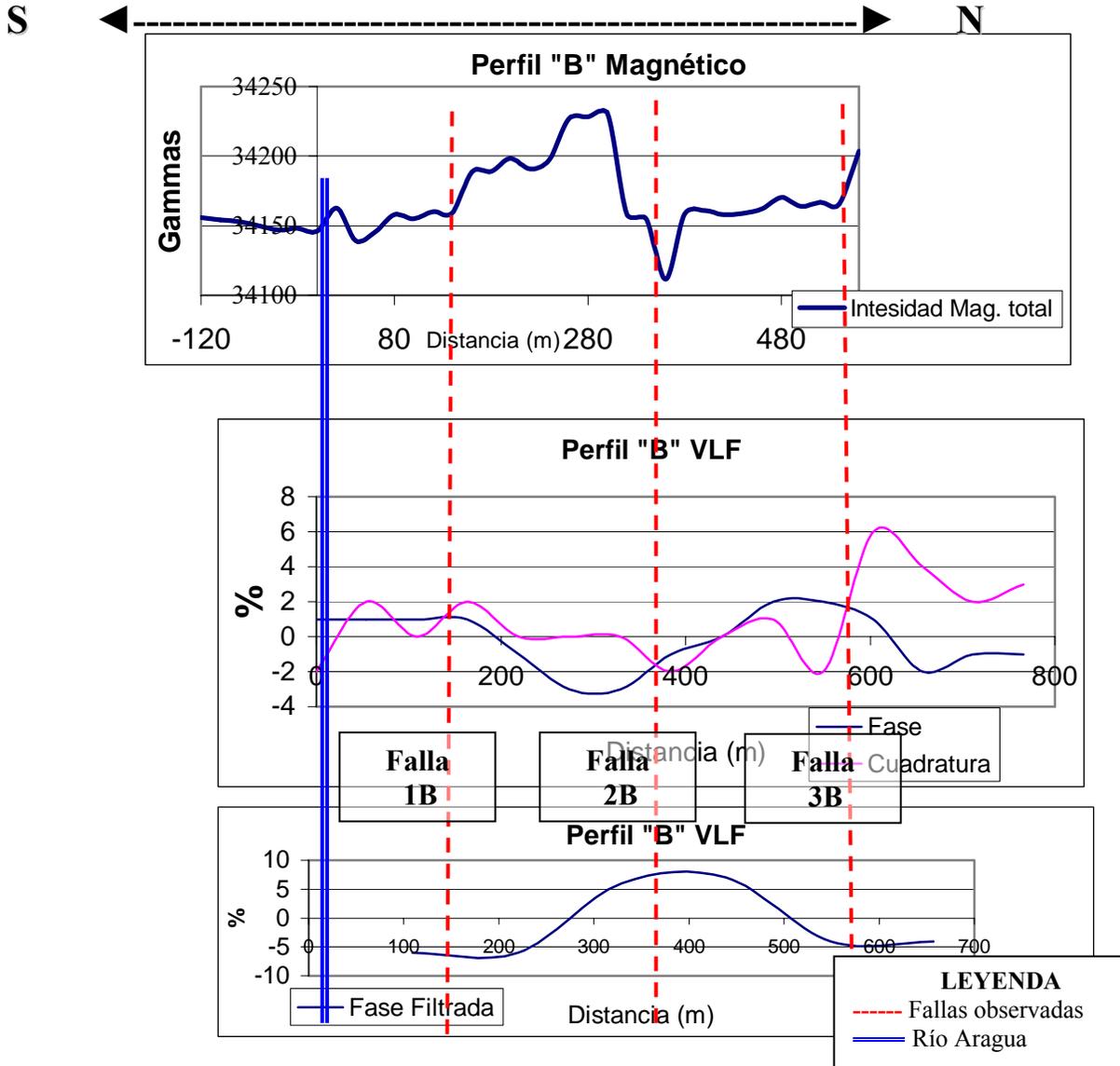


Figura 5.2 Perfil "B" situado en el valle de la Victoria, resultados de Intesidad Mag. Total (arriba), repuesta del campo electromagnético en fase y cuadratura de VLF (medio), fase filtrada de VLF (abajo).

En el solapamiento de datos para el perfil "B" del valle de La Victoria se observa claramente la identificación de las fallas por ambos métodos, se corrobora entonces que las fallas marcadas como 1B, 2 B y 3B se evidencian a partir de respuestas similares registradas en el mismo perfil por herramientas de prospección distintas.

Aunque La fase filtrada identifica la anomalía "2B" a los 360 m del perfil. las fallas "1B" y "3B" no evidencian con claridad en el gráfico (fase filtrada) debido a la falta de información en los extremos del perfil.

### 5.3. Análisis integrado del Perfil "A" en el valle de La Victoria (edo. Aragua)

S ← -----> N

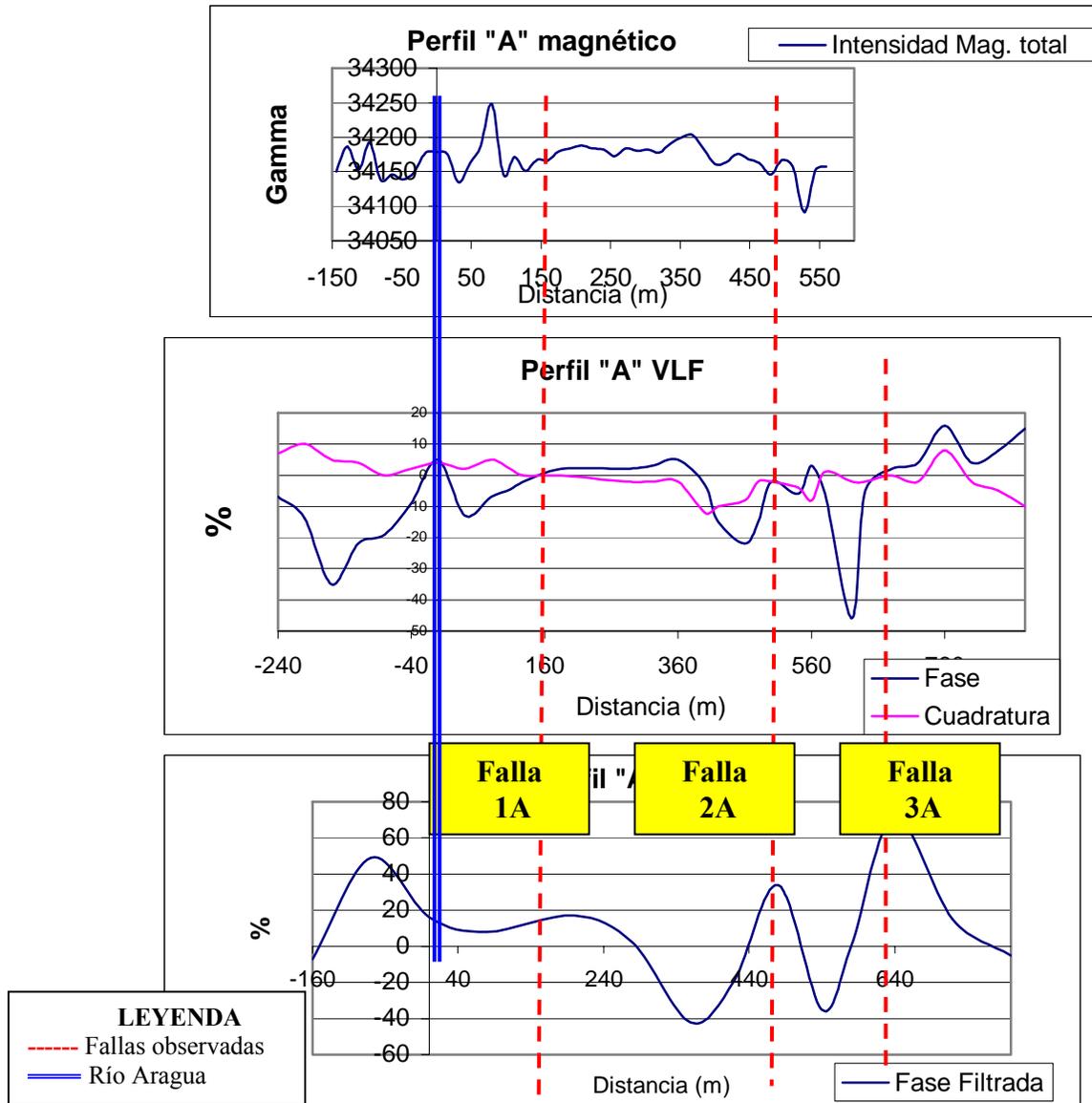


Figura 5.3.1 Perfil "A" situado en el valle de la Victoria, resultados de Intensidad Mag. Total (arriba), repuesta del campo electromagnético en fase y cuadratura de VLF (medio), fase filtrada de VLF (abajo).

Los perfiles referidos a VLF (fase, cuadratura y fase filtrada) e Intensidad Magnética Total se sobreponen de manera coherente (aunque el respuesta magnética no evidencia de manera clara las anomalías) en la identificación de las discontinuidades (fallas) marcadas como 1A, 2A y 3A evidenciando respuestas similares en el perfil "A". (Punto de referencia: Río Aragua).

Seguidamente se muestra la misma sobre posición de herramientas de prospección (figura 5.2.2) en este caso partir del método EM-34 (electromagnético), sísmica de refracción y sísmica de reflexión.

Tomando el Río Aragua como punto de referencia se realiza entonces el mismo solapamiento de respuestas para ver si las discontinuidades se identifican en las mismas zonas descritas por los métodos anteriores.

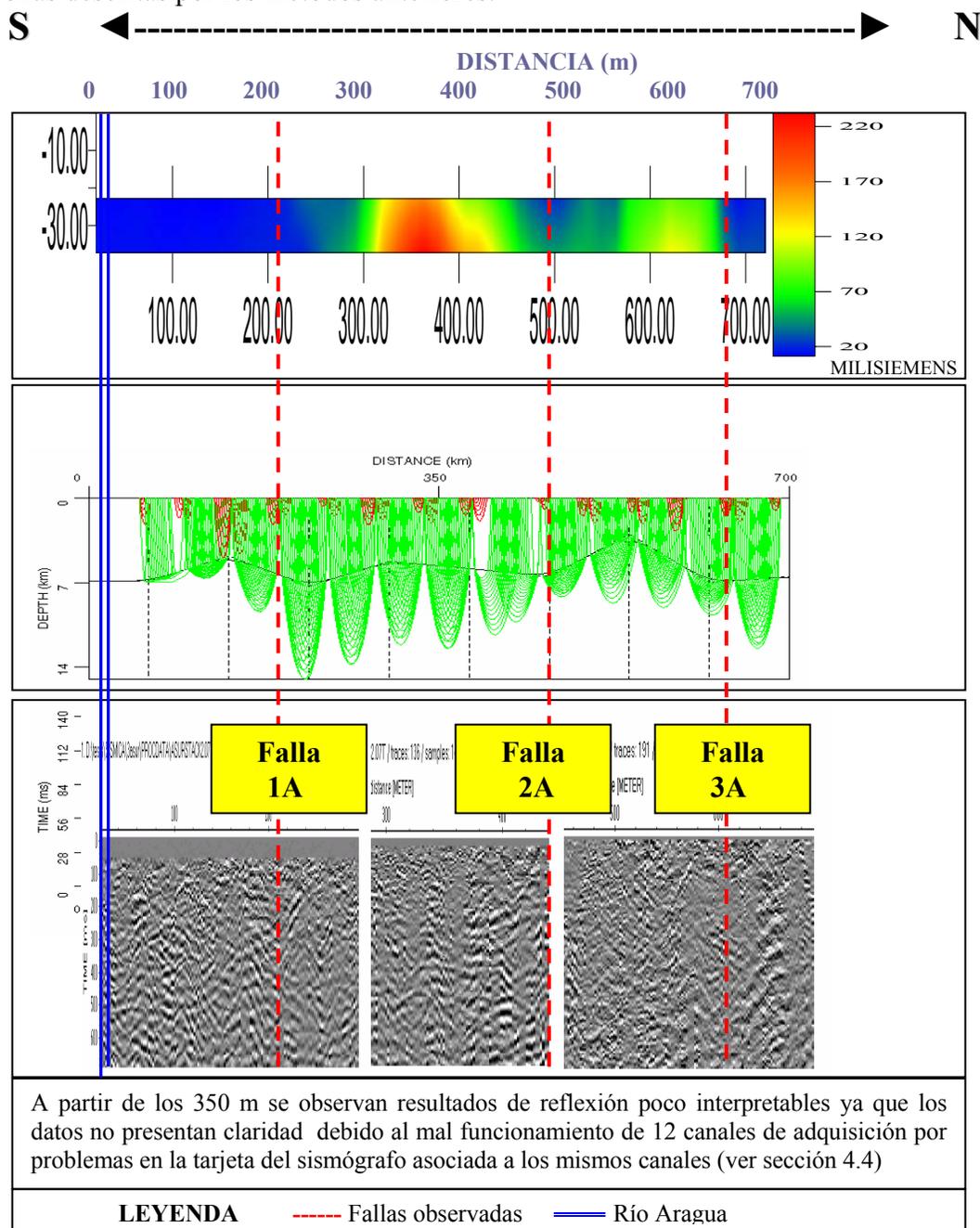


Figura 5.3.2 Perfil "A" situado en el valle de la Victoria, resultado de la prospección electromagnética a partir del equipo EM-34 (arriba), resultado de la sísmica de refracción (medio), sísmica de reflexión procesada (abajo).

Las posibles zonas de falla 1A, 2A y 3A identificadas a partir del EM-34 y la sísmica de refracción presentan la misma localización, la sísmica de reflexión solo se corresponde en la zona 1A y no de manera muy clara debido a los problemas de adquisición (ver sección 4.4). La ubicación de fallas 1A, 2A y 3A en resultados de magnetismo y VLF (figuras 5.2.1), se corresponden claramente con los resultados obtenidos en la sísmica de refracción y EM-34, confirmando la existencia de las fallas antes indicadas por cada una de las herramientas geofísicas utilizadas.

#### 5.4 Mapa de fallas proyectadas directamente sobre la superficie en el valle de la Victoria (Edo. Aragua)

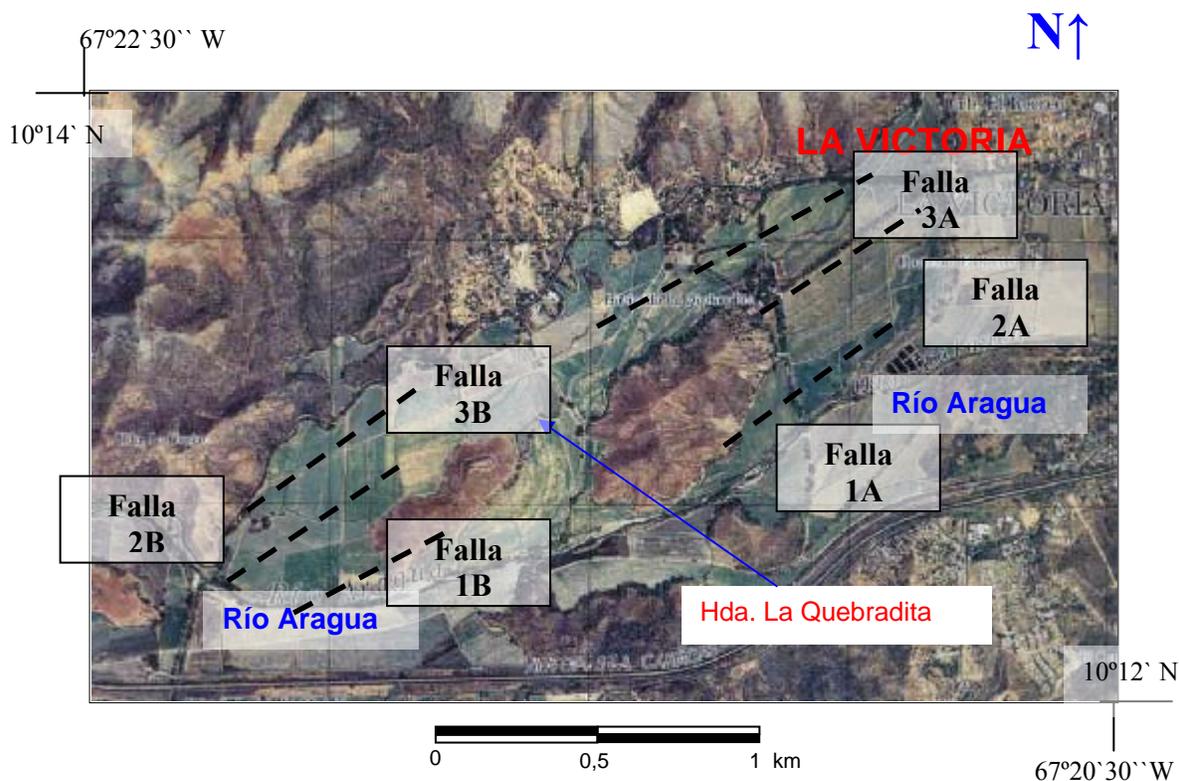


Figura 5.4, Fallas interpretadas a partir de la integración de cada una de las herramientas geofísicas aplicada, en el valle de La Victoria (Edo. Aragua), se pueden apreciar El Río Aragua como punto referencial de los perfiles adquiridos.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

La falla de Victoria con rumbo deslizando dextral y una componente normal ya cartografiada por estudios de superficie se ve identificada por las anomalías 3A y 3B. Los estudios realizados han permitido detallar la configuración dentro del valle produciendo un sistema de fallas más complejo evidenciado a simple vista por dos levantamientos montañosos alineados en una misma dirección (paralelos a la falla principal).

Los cerros observados dentro del valle (IA Victoria) presentan un fallamiento en el subsuelo a ambos lados que permitió la elevación de los bloques, quedando las zonas adyacentes como deprimidas y presentan la misma dirección de las fallas identificadas debido a que estas no son más que el reflejo directo del mismo sistema de esfuerzos. Los perfiles perpendiculares (“A” y “B”) a los ejes principales de estas elevaciones presentaron un comportamiento similar de levantamiento de bloque en este caso no aflorantes.

Aunque los mapas de Intensidad Magnética total y reducción al polo obtenidos en la zona de La Victoria marcan una tendencia de comportamiento del subsuelo y algunas anomalías específicas se recomienda la realización de un mallado con diferentes mediciones ocupando toda el área del Valle de La Victoria.

La sísmica de reflexión somera aplicada presenta problemas en la resolución de datos debido a la baja energía de fuente aplicada (calibre 12, rellenos previamente con pólvora) aunado a un terreno poco consolidado en superficie (mal acoplamiento de geófonos), un subsuelo de marcada heterogeneidad y un nivel freático inferior a los 10 metros de profundidad, todos estos factores atenuaron en gran medida las reflexiones de los estratos. Se recomienda una nueva adquisición en las zonas de fallas previamente identificadas a partir del uso apilado de golpes consistentes de mandarina sobre una placa fuerte bien acuñada al piso.

Las herramientas utilizadas respondieron de manera satisfactoria a la ubicación de las discontinuidades aunque la identificación registrado por el perfil “A” magnético en el valle de La Victoria no se presenta de manera clara. Esto puede ser atribuido a un salto de bloques entre las fallas poco apreciable, sin embargo la herramienta de VLF identifica la discontinuidad de manera satisfactoria.

En las zonas de Santa Lucía (cuenca del Tuy) se identifica con claridad la discontinuidad entre dos bloques (norte y sur) por una falla normal de dirección NO-SE. Al mismo tiempo se recomienda el levantamiento de perfiles magnéticos para así poder solapar resultados que definan mejor el comportamiento de los bloques.

A partir de la herramienta de prospección electromagnética EM-34 utilizada en el perfil “A” del valle de La Victoria, se observa claramente la presencia de un contraste de conductividades que aumenta vertiginosamente en a profundidades 10 m

aproximadamente, evidenciando la presencia del nivel freático a diferentes profundidades debido a la deformación de la capa arcillosa a partir del basamento fallado. Las resistividades mayores en la parte superior concuerdan con la litología de esquistos graníticos a veces calcáreos presente en la formación Las Mercedes llamada actualmente Esquistos las Mercedes.

De acuerdo a las velocidades calculadas a partir de los tiempos de llegada de la llegada de la onda S se estimaron valores promedios de 350 m/s para la primera capa y 700 m/s para la segunda lo que indica la presencia de sedimentos de grano medio y fino.

Cada bloque de basamento con diferentes elevaciones presenta una tendencia de comportamiento similar en cuanto al repuesta obtenida de la fase y cuadratura del campo electromagnético a lo largo del levantamiento, los perfiles “A” y “B” (principales) de la zona del valle de La Victoria presentan gran heterogeneidad lateral lo que hace mas complicado la identificación y tendencia de un comportamiento de cada unos de estos bloques.

Los tendidos eléctricos afectan en gran medida las mediciones magnéticas existentes en la zona. Buscar perfiles paralelos en la época donde los terrenos no estén sembrados aún esclarecería comportamiento de anomalías no muy evidentes, como es el caso del perfil “A” en la Zona de La Victoria.

Las anomalías apreciadas en el perfil “B” de la Zona de la Victoria son más pronunciadas que las registradas en el perfil “A”, lo que indica una presencia más acentuada de los movimientos verticales entre bloques en la zona Suroeste del valle.

Las herramientas de prospección EM-34 (electromagnético) y la sísmica de refracción identificaron de manera satisfactoria y congruente las deformaciones de los estratos producida por la presencia del basamento fallado a partir del contraste de resistividades y velocidades de las 2 capas más somera respectivamente. Describiendo como litología del subsuelo sedimentos de grano fino saturados a profundidad (10 m aproximadamente) que evidencia la presencia del nivel freático.

Los estudios realizados con herramientas de prospección profunda a partir del Magnetismo y VLF identifican las fallas en el basamento en zonas idénticas y se presentan congruentes con las deformaciones observadas en las capas más someras por la sísmica de refracción y EM-34.

La zona de Santa Lucía no presentó la utilización de herramientas como el EM-34 y sísmica de reflexión somera ya que los sedimentos más superficiales no presentan cambios marcados de litología a profundidad según la geología de la zona como para identificar una falla.

## 7. Bibliografía y Referencias citadas

- AUDEMARD, F. A. (1984) Evaluación geológica de la cuenca de El Tuy para fines de investigaciones neotectónicas. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Geología., Minas y Geofísica., Universidad Central de Venezuela; 226p + anexos. 2 Vol. Inédito.
- AUDEMARD, F. A. (1985) Neotectónica de la cuenca de El Tuy. VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas. 4; 2339 – 2377.
- AUDEMARD, F. A. (1999) Syn-sedimentary extensional tectonics in the River Tuy Basin, northern Venezuela: implication on basin genesis and southern Caribbean Geodynamics. Investigaciones FUNVISIS. Caracas – Venezuela; 6p
- AUDEMARD, F. A., F. De Santis, A. Singer, y C. Ramos (1995) El sistema de fallas de La Victoria, Venezuela norcentral: trazas activas, complejidades estructurales, cinemática y sismicidad asociada. IX Congreso Latinoamericano de Geología. Caracas, Nov.1995 – Venezuela; 16 p.
- BAKER, G.S., D.W. STEEPLES and C. SCHMEISSNER (1999a) Seismic reflections from depths of less than 2 meters. Geophysics. Res.Lett., 26, 279-282.
- BAKER, G.S., D.W. STEEPLES and C. SCHMEISSNER (1999b) In-situ, high frequency P-wave velocity measurements within 1m of the Earth's surface. Geophysics, Res.Lett., 64, 323-325.
- BECK, C. (1980) New data about recent tectonics in the central part of the Caribbean chain: the Santa Lucía – Ocumare del Tuy Graben, Miranda State, Venezuela: IV Congreso Latinoamericano de Geología, Trinidad – 1979; 59 -68.
- BONNER, B. P., y Schock, R. N., (1981) Seismic Wave Velocity, en Touloukian, Y. S.,Judd,W. R., y Roy, R. F., Eds., Physical properties of rocks and minerals: McGraw-Hill/CINDAS Serie de datos de Propiedades de Materiales, II-2.
- CANTOS F. José, (1974) Tratado de Geofísica Aplicada. Editorial Litoprint, Madrid – España, Primera Edición, pag. 520.
- CHEN Huiming, Xu H., Xu Y., (1989) Detecting Underground Cables and Metal Conducting Pipes by Using EM Methods. Departament of Applied Geophysics, China University of Geoscience, 29 Xueyuanlu, Beijing, People's Republic of China.
- DOBRIN, Milton B. (1961) Introducción a la Prospección Geofísica. Ediciones Omega. Barcelona, Madrid.

- DOBRIN, M. B., (1976) Introduction to the geophysical prospecting; McGraw-Hill Book Co.
- FISHER, D. C., Le Luang, B. V., y Müller, I. (1983) Very Low Frequency grounds surveys, a powerful tool for the study of shallow two-dimensional structures. *Geophysics. Prosp.*31, 977-91.
- GARDNER, G. H. F., Gardner, L. W., and Gregory, A. R., (1974) Formation Velocity and density. *Geophysics*, 39, 770-780.
- LANKSTON, R. W., y Lankston, M. M., (1986) Obtaining multilayer reciprocal times through phantoming; *Geophysics*, 51, 45-49.
- MCLAMORE, V. R., Anderson, D. G., y España, C.,(1978) Crosshole testing using explosive and mechanical energy sources, in *Dynamic Geotechnical testing*, ASTM STP 654; ASTM, 30–50.
- MATHIESON, C. C., y Crossley, D. J. (1982) Interpretation of a single frequency VLF data. In *Geophysical Applications of Surface Wave Impedance Measurements*, L. S. Collect y O. G. Jensen, eds. *Geol. Survey Canada, Ottawa, paper 81-15, Report IV*, pp. 49-65.
- MAYNE, W.H. (1962) Horizontal data stacking techniques, *Geophysics (suppl)*. 27, 927-938.
- MILLER, R.D., D.W. STEEPLES and M. BRANNAN (1989) Mapping a bedrock surface under dry alluvium with shallow seismic reflections. *Geophysics*, 54, 1528-1534.
- PALMER, D., (1986) *Refraction Seismics, the lateral resolution of structure and seismic velocity*; Geophysical Press.
- PARK, C.B., MILLER y J. XIA (1999c) Detection of Near-Surface Voids Using Surface Wave (SAGEEP 99), Oakland, Calif., March 14-18, 281-286.
- SHERIFF, R.E. (1984) *Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics*; Soc. Expl. Geophysics., Tulsa. Okla., 2nd Edition, p. 323.
- SHERIFF, R.E. (1991) *Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics*; Soc. Expl. Geophysics., Tulsa. Okla., 3rd Edition, p. 376.
- SHERIFF, R. E., y Geldart, L. P., (1982) *Exploration seismology, Volume 1*: Cambridge Univ. Press.
- STAM, J. C., (1962) Modern Developments in shallow seismic refraction techniques; *Geophysics*, 27, 198-212.
- STEEPLES, D.W. (2000) A review f shallow seismic methods; *Departement of Geology, University of Kansas, Vol 43, N. 6, December*, 1021-1041.

- STEEPLES, D.W. y Richard D. Miller (1988) Seismic Methods Applied to Engineering, Environmental, and Groundwater Problems; Kansas Geological Survey, The University of Kansas, Lawrence Kansas, 30, 17-22.
- SCHUBERT, C. (1986) Aspectos neotetónicos de la zona de falla de La Victoria y origen de la cuenca sedimentaria Santa Lucía -Ocumare del Tuy, Venezuela: Acta Científica Venezolana, 37; p. 278 – 286.
- TELFORD, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., y Keys, D. A., (1990) Applied Geophysics; Cambrige Univ. Press., 2ª Edición, p. 770
- TRX Consulting (2002) Compilación de Manuales de principios y manejo de equipos para la prospección Geofísica. Caracas – Venezuela.
- XU, H. H. y Wang, S. T., (1987) Quadrature electromagnetic method; Geology Pub. House. Departament of Applied Geophysics, China University of Geoscience, 29 Xueyuanlu, Beijing, People's Republic of China.
- XU, H. H. y Yang, X., (1988) Quadrature electromagnetic method and some application; (unpublish). Departament of Applied Geophysics, China University of Geoscience, 29 Xueyuanlu, Beijing, People's Republic of China.

## APÉNDICES

### A.1

**Tabla de resistividades**

Azufre	$10^{15}$
Mica	$10^8$ a $10^{13}$
Sal gema seca	$10^3$ a $10^{13}$
Sal gema húmeda	0.05 a 0.2
Calcita	$10^7$
Cuarzo	$10^{12}$
Granito seco	$10^6$ a $10^9$
Arenisca seca	$10^4$ a $10^8$
Limonita	$10^5$
Caliza seca	$10^3$ a $10^4$
Caliza húmeda	50 a $5 \times 10^2$
Mineral de Pirita seco	10 a $10^2$
Mineral de Pirita húmedo	1 a $10^{-3}$
Calcopirita	0.01 a $10^{-3}$
Calcopirita húmeda	$10^{-4}$ a $10^{-5}$
Marga seca	50 a $5 \times 10^2$
Marga húmeda	1 a 10
Arcilla Seca	80
Arcilla húmeda	1 a 10
Grafito	$3 \times 10^{-4}$
Cobre	$1,7 \times 10^{-8}$
Plata	$10^{-8}$
Agua pura de montaña	$10^2$ a $3 \times 10^3$
Agua con 3% de sal	0.05 a 1
Agua con 20% de sal	0.03

**Tabla A.1, Resistividades de algunos tipos de rocas, materiales no consolidados y agua.  
Tomado de Cantos F., 1974.**

## A.2

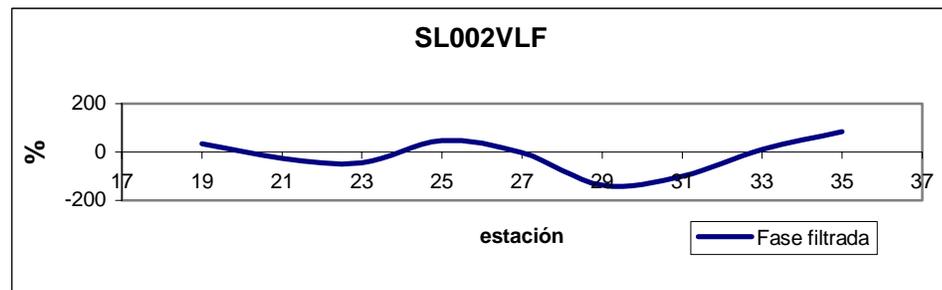
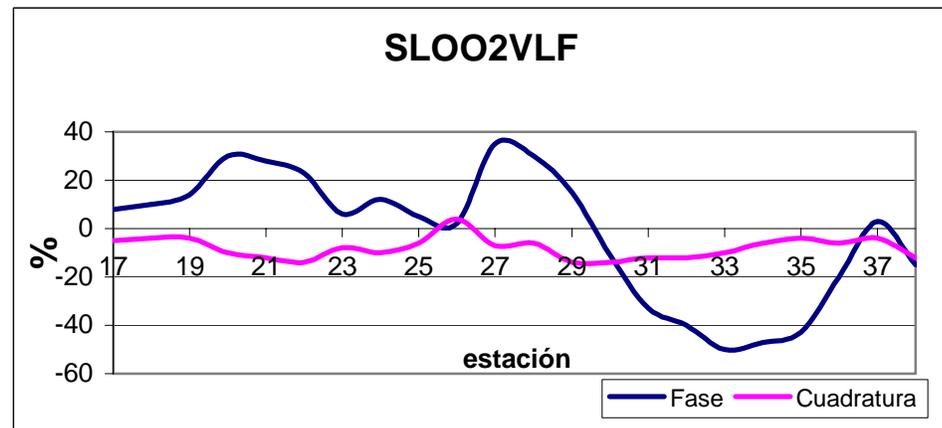
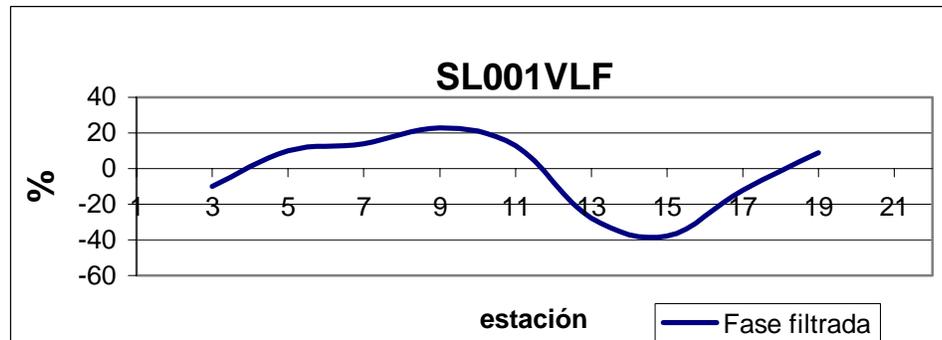
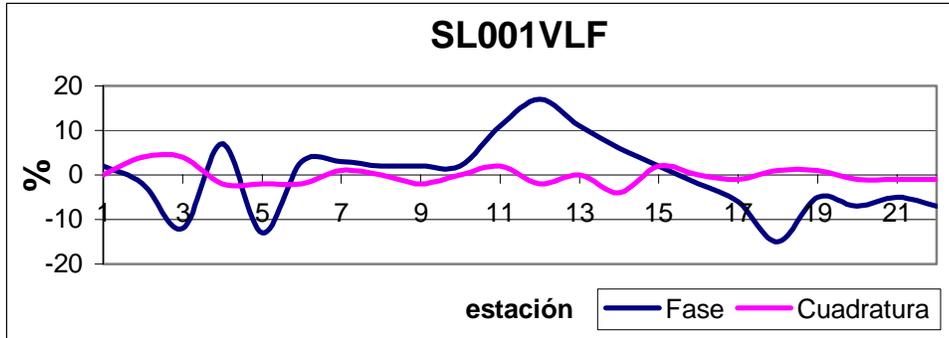
Tabla de velocidades y densidades

Material	Densidad ( $g / cm^3$ )	$V_p$ ( $km / s$ )	$V_s$ ( $km / s$ )
<i>Rocas ígneas</i>			
Andesita	2,64	5,05	3,03
Basalto	2,65	5,15	2,92
	2,66	4,64	2,78
Diabasa	2,66	4,30	2,88
Granodiorita	2,69	6,09	3,42
Granito	2,61	5,18	3,00
	2,63	4,92	2,94
<i>Rocas Metamórficas</i>			
Gneis	2,43	3,53	1,70
Cuarcita	2,7	5,65	2,96
	2,58	5,35	3,60
<i>Rocas Sedimentarias</i>			
Dolomita	2,85	5,02	3,02
	2,4	5,00	2,93
	2,82	6,22	3,51
Calcita	2,66	5,94	3,14
	2,72	6,19	3,35
	2,72	4,85	2,93
Arenisca	2,40	3,58	2,28
	2,44	3,37	2,13
	2,43	4,33	2,57
	2,35	4,01	2,24
	2,27	3,82	2,10
	2,56	3,44	2,34
	2,03	2,98	1,51
Lutita	2,68	4,30	2,65
	2,55	3,99	2,23
	2,58	3,96	2,47
<i>Sedimentos no consolidados</i>			
Arena y Conglomerado (seco, mezclado)	2,00	1,05	0,52
Arena de grano medio a fino (seca)	1,76	0,53	0,30
	1,84	1,32	0,57
(saturada)	2,03	2,21	0,54
Arcilla (seca)	1,94	0,73	0,41
(saturada)	1,99	1,70	0,39

Tabla 3.6.a, Densidad, Velocidad de onda P, Velocidad de onda S distintos tipos de roca (tomado de Bonner y Schock, 1981) y sedimentos no consolidados (tomado de McLamore et. al., 1978).

**B.1 Gráficos en Excel con escala de valores para los perfiles 01, 02 y 03 de el valle de Santa Lucía (edo. Miranda)**

S ←-----→ N

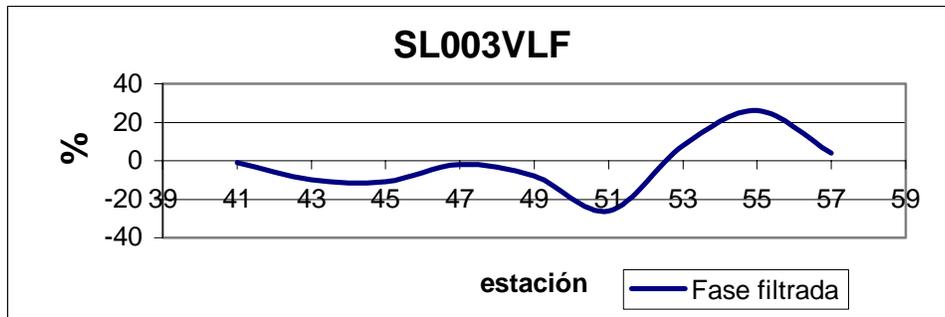
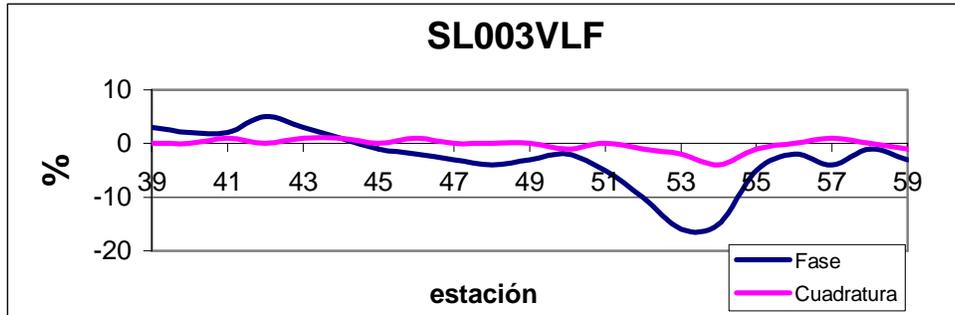


## B.1 (CONTINUACIÓN)

S

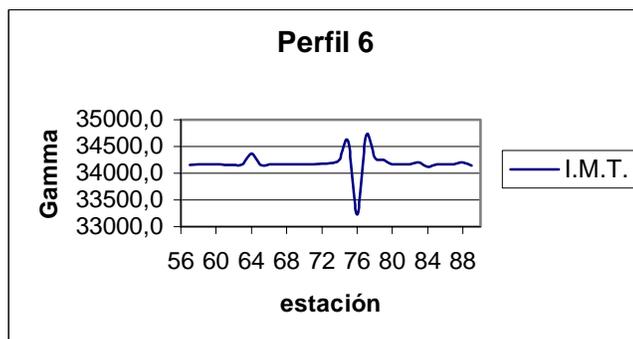
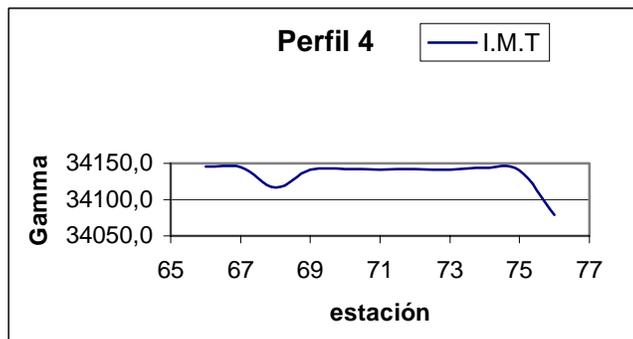
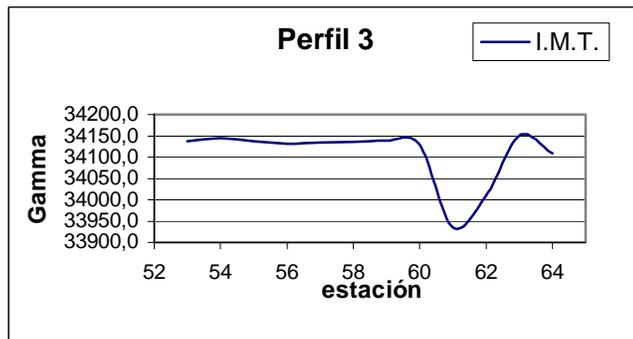
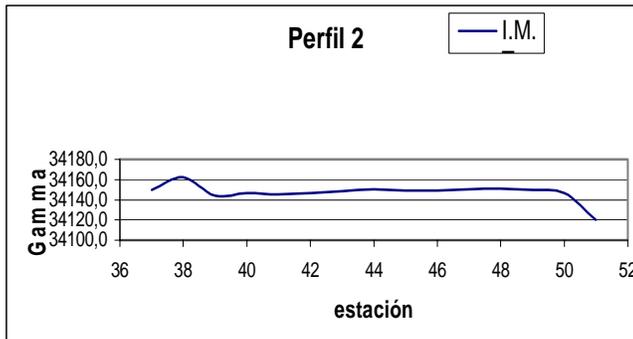
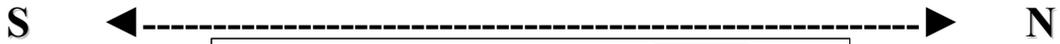


N



C.1

**Gráficos Intensidad magnética total para los perfiles 02, 03, 04, 06, 08, 09, 10, 12, 13, 14, 15 y 16 del valle de La Victoria (Edo. Aragua)**

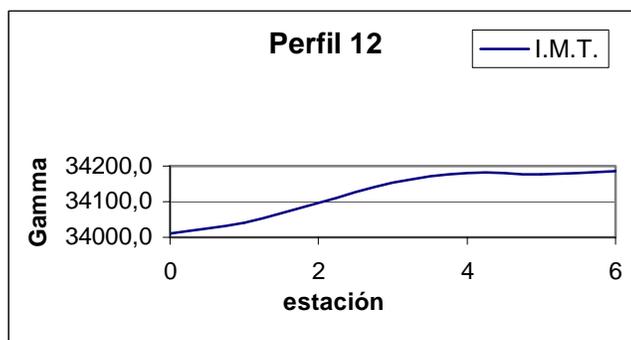
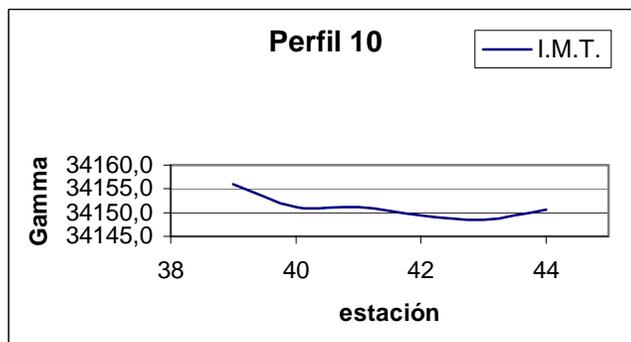
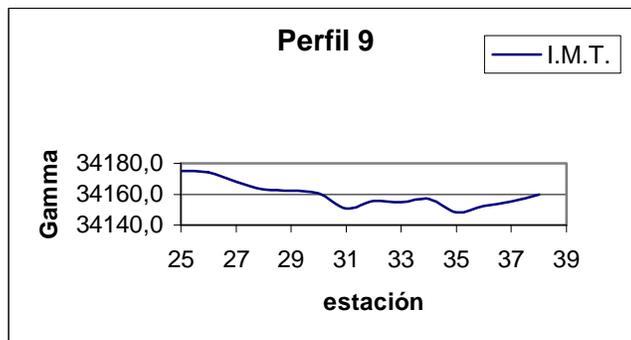
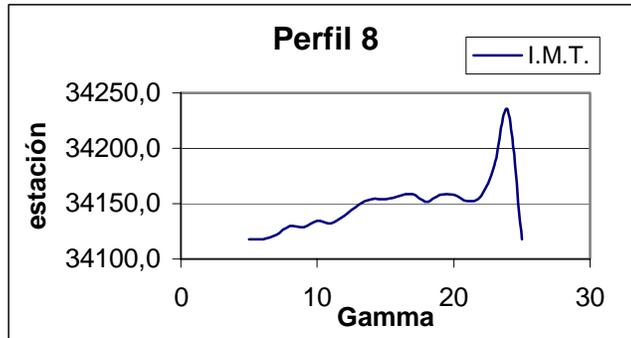


## C.1 (CONTINUACIÓN)

S



N

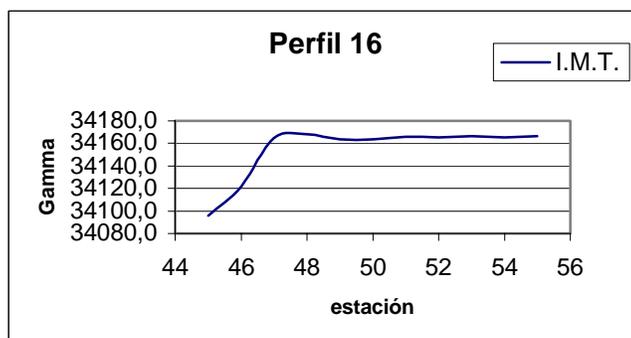
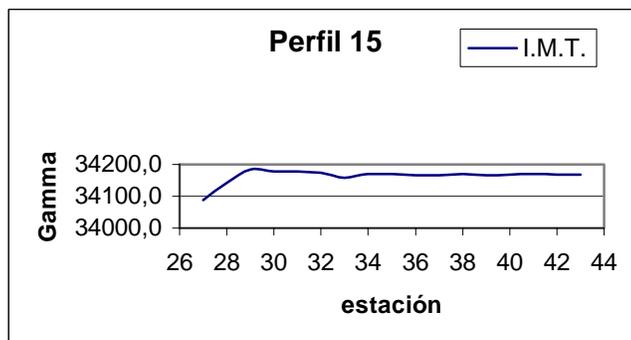
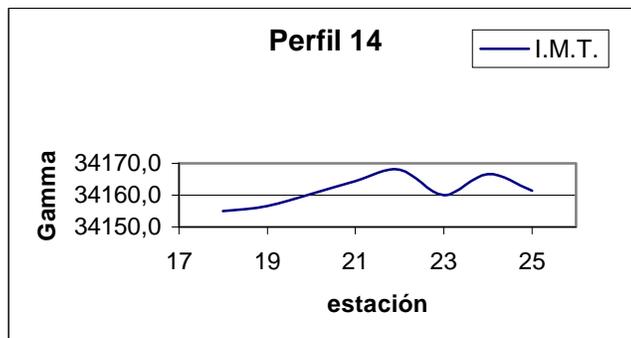
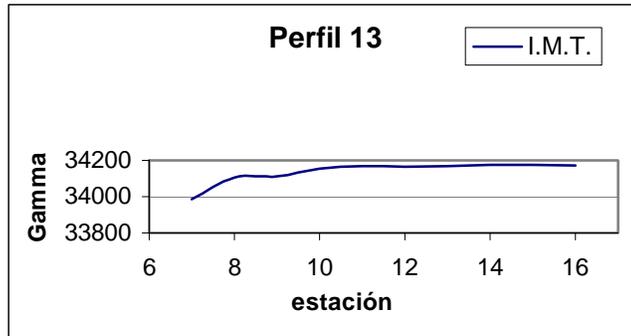


## C.1 (CONTINUACIÓN)

S



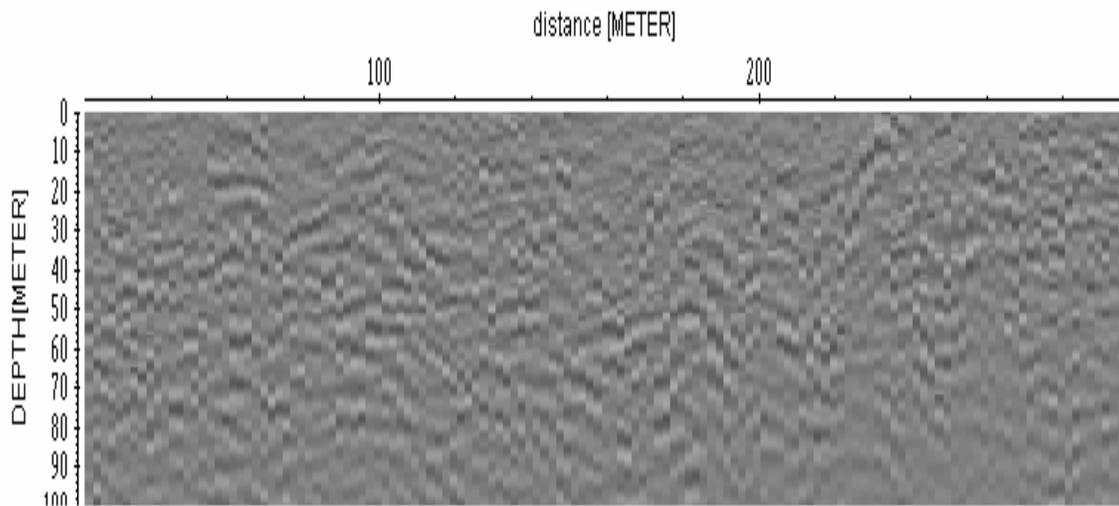
N



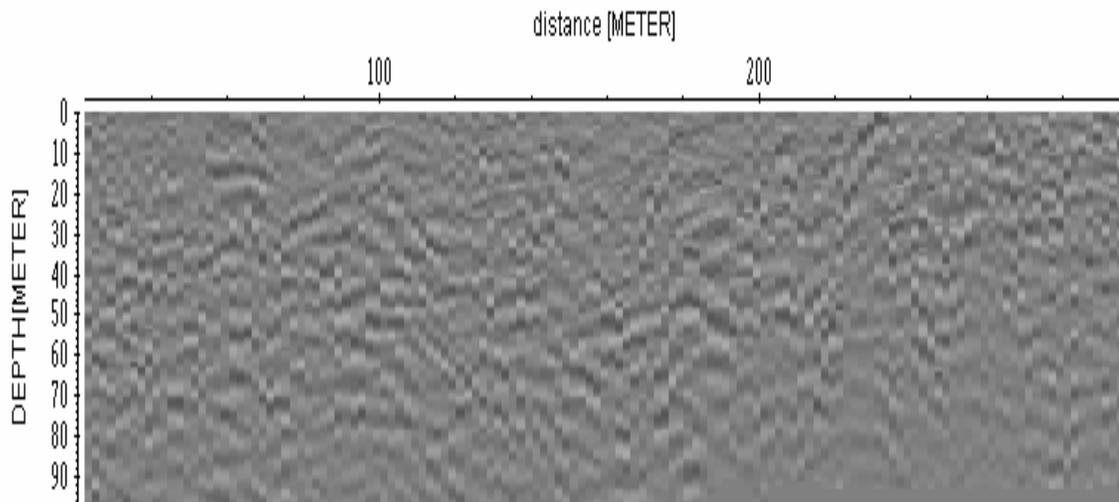
## D.1

Segmento 1 (parte Sur) de sísmica de reflexión (de 0 a 300 m de longitud) transformado a profundidad a partir de los valores de velocidades obtenidos mediante el análisis de semblanza en la identificación de reflectores.

1. D:\TESIS\SISMICA\3ASUR\PROC DATA\ASURSTACK2.07T /traces: 137 / samples: 1625



2. D:\TESIS\SISMICA\3ASUR\PROC DATA\ASURSTACK2.08T /traces: 137 / samples: 1581



**E. Registro de coordenadas según el inicio y final de cada perfil de prospección con las diferentes herramientas geofísicas.**

<b>Método Geofísico y nombre de perfil</b>	<b>Inicio del perfil</b>		<b>Final del perfil</b>	
	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
	<b>U.T.M.</b>	<b>U:T.M.</b>	<b>U.T.M.</b>	<b>U.T.M</b>
Magnético A (7)	680856,795	1129802,855	680700,155	1130781,686
Magnético B (11-1)	679084,535	1129484,119	679056,707	1130337,812
Magnético 2	679265,795	1130019,646	679247,426	1130281,222
Magnético 3	679503,253	1130366,774	679476,387	1130449,114
Magnético 4	679771,633	1130295,154	679747,111	1130494,396
Magnético 6	681156,795	1130665,729	681159,777	1130657,437
Magnético 8	679301,452	1129361,799	679565,896	1129604,040
Magnético 9	679501,465	1129444,102	679399,709	1129690,421
Magnético 10	679294,029	1129551,041	679234,840	1129632,624
Magnético 12	679652,890	1130633,143	679628,941	1130719,652
Magnético 13	679783,441	1130735,271	679691,736	1130854,071
Magnético 14	680144,892	1130969,707	680137,371	1131061,640
Magnético 15	681285,309	1131164,814	681160,821	1131371,854
Magnético 16	681199,460	1131172,088	681100,692	1131292,036
VLF A	680867,360	1129785,876	680592,524	1131256,415
VLF B	679030,099	1129671,937	679057,723	1130357,595
EM-34	680856,795	1129802,855	680623,071	1131144,427
Sísmica de reflexión	680856,795	1129802,855	680623,071	1131144,427
Sísmica de refracción	680856,795	1129802,855	680623,071	1131144,427

**Apéndice E.1 Coordenadas de perfiles. Zona del Valle de La Victoria (Edo. Aragua)**

<b>Método Geofísico y nombre de perfil</b>	<b>Inicio del perfil</b>		<b>Final del perfil</b>	
	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
	<b>U.T.M.</b>	<b>U:T.M.</b>	<b>U.T.M.</b>	<b>U.T.M</b>
VLF 1	754642,418	1136930,504	754883,655	1137795,350
VLF 2	755368,277	1136390,242	755500,643	1137592,660
VLF 3	755998,883	1136582,402	756152,730	1137657,358

**Apéndice E.2 Coordenadas de perfiles. Zona del Valle de Santa Lucía (Edo. Miranda)**