

INFORME FINAL

OPERACIONES DE CAMPO

PROYECTO MAGNETOTELURICA MERCADERES, CAUCA

ARIANA LTDA.

DIRECTOR

Geólogo: Leonardo Díaz

EQUIPO DE TRABAJO

Operadores MT: Gerald Miranda, Nathalia Rodríguez

Tecnólogos: Ricardo Rodríguez, Rodrigo Díaz, Víctor Rodríguez, Samuel Alarcón

Bogotá, 2009

CONTENIDO

| | |
|--------------------------------------------------------|----|
| LISTADO DE FIGURAS | 5 |
| INFORME FINAL OPERACIONES DE CAMPO | 7 |
| ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 7 |
| EQUIPO UTILIZADO | 8 |
| Montaje | 10 |
| Estaciones de Campo..... | 12 |
| ACTIVIDADES DE CAMPO | 13 |
| Interacción con autoridades y comunidades locales..... | 13 |
| Capacitaciones HSE..... | 14 |
| Operación en campo | 14 |
| Tendido del Cable | 15 |
| TOMA DE DATOS..... | 15 |
| Levantamiento de Equipo..... | 16 |
| CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS ADQUIRIDOS..... | 16 |
| INFORME FINAL PROCESAMIENTO | 18 |
| DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO | 18 |
| MAGNETOTELÚRICA (MT) | 18 |
| FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 18 |
| PARÁMETROS | 19 |
| PROFUNDIDAD DE INVESTIGACIÓN..... | 19 |
| MT – FUENTES DE CAMPO..... | 20 |
| CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD Y LA FASE | 20 |
| CARACTERÍSTICAS DE INVESTIGACIONES – MT | 20 |
| MT - ADQUISICIÓN..... | 21 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| MT – ESTÁTICAS..... | 21 |
| MT - PROCESO | 22 |
| MODELO ROUGHNESS – MT | 22 |
| PROBLEMA DIRECTO – PROBLEMA INVERSO | 22 |
| ALGORITMO | 24 |
| PROCESAMIENTO DE DATOS | 24 |
| Sistema Zonge..... | 24 |
| Inversión 2D de Datos MT | 27 |
| Referencias | 27 |
| INFORME FINAL DE INTERPRETACIÓN MAGNETOTELÚRICA MERCADERES, CAUCA..... | 28 |
| INTRODUCCIÓN | 28 |
| METODOLOGÍA | 28 |
| LOCALIZACIÓN | 28 |
| CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS | 29 |
| HIDROGRAFÍA | 29 |
| CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE TRABAJO..... | 30 |
| ESTRATIGRAFÍA..... | 30 |
| GRUPO DIABÁSICO | 30 |
| Formación peñamorada | 31 |
| formación mosquera | 31 |
| FORMACIÓN esmita | 31 |
| FORMACIÓN galeón | 31 |
| formación popayán | 32 |
| GEOLOGÍA ESTRUCTURAL..... | 33 |
| ESTILO ESTRUCTURAL..... | 35 |
| INTERPRETACIÓN PERFILES mAGNETOTELÚRICOS..... | 36 |
| LINEA L-2..... | 36 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| LINEA L-3..... | 42 |
| CONCLUSIONES..... | 50 |
| PROGRAMA DE INDUCCIÓN Y ENTRENAMIENTO EN SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE..... | 51 |
| INTRODUCCIÓN | 51 |
| OBJETIVOS | 51 |
| OBJETIVO GENERAL | 51 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 51 |
| IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE CAPACITACIÓN | 52 |
| Inducción General..... | 52 |
| Capacitaciones Específicas..... | 55 |
| METODOLOGÍA..... | 57 |
| RECURSOS..... | 57 |
| CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN | 57 |
| RESPONSABLES..... | 58 |
| COSTOS..... | 58 |
| ESQUEMA PLAN DE DESPLAZAMIENTOS EN CAMPO | 59 |
| PLAN DE ACTIVIDADES HSE – 2009..... | 60 |
| Metodología | 60 |
| Cronograma Fase I..... | 60 |
| AUDITORIAS DE SEGUIMIENTO EN HSE..... | 62 |
| IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS Y CIERRE DE ESTAS..... | 62 |
| AUDITORIAS DE SEGUIMIENTO EN HSE..... | 63 |
| IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS Y CIERRE DE ESTAS..... | 63 |
| AUDITORIAS DE SEGUIMIENTO EN HSE..... | 64 |
| IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS Y CIERRE DE ESTAS..... | 64 |

LISTADO DE FIGURAS

| | | |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 1. | Mapa del área y unidades litoestratigráficas..... | 7 |
| Fig. 2. | Perfil 1..... | 8 |
| Fig. 3. | Perfil 2..... | 8 |
| Fig. 4. | Receptor GDP – 32..... | 10 |
| Fig. 5. | Montaje MT. Disposición de electrodos cada 200 m..... | 11 |
| Fig. 6. | Estaciones de campo. | 13 |
| Fig. 7. | Interacción con miembros de la comunidad de Mercaderes | 13 |
| Fig. 8. | Equipo de trabajo..... | 15 |
| Fig. 9. | Tendido del cable, perfil 2. | 15 |
| Fig. 10. | Estación central para el registro de datos. | 16 |
| Fig. 11. | Registros eléctricos visualizados en MTEdit v2.00..... | 17 |
| Fig. 12. | Valores aproximados de resistividad para las diferentes litologías | 19 |
| Fig. 13. | Deflexión del campo magnético de la tierra por el viento solar..... | 20 |
| Fig. 14. | Diseño general para la adquisición de información magnetotelúrica | 21 |
| Fig. 15. | Modelo Roughness | 22 |
| Fig. 16. | L-2. Valores de resistividad..... | 25 |
| Fig. 17. | L-3. Valores de resistividad..... | 26 |
| Fig. 18. | Imagen satelital..... | 28 |
| Fig. 19. | Localización perfiles..... | 29 |
| Fig. 20. | Ubicación perfiles magnetotelúricos | 30 |
| Fig. 21. | Columna estratigráfica generalizada con intervalos de resistividades medidas y estimadas para el área de trabajo. | 33 |
| Fig. 22. | Mapa geológico generalizado área de influencia de Mercaderes y ubicación de líneas de magnetotelúrica. | 35 |
| Fig. 23. | Contornos de resistividades..... | 37 |

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 24. | Valores de resistividad en rangos de colores..... | 38 |
| Fig. 25. | Interpretación estructural línea L-2..... | 39 |
| Fig. 26. | Interpretación Geológica final línea L-2..... | 40 |
| Fig. 27. | Contornos de resistividades línea L-3, con rangos de resistividad cada 100 ohm..... | 42 |
| Fig. 28. | Valores de resistividad, línea L-3 con gama de colores de azul a rojo de menor a mayor valor..... | 43 |
| Fig. 29. | Principales fallas identificadas en el área de la línea L-3 | 44 |
| Fig. 30. | Interpretación geológica final línea L-3 | 46 |
| Fig. 31. | Línea sísmica CP – 09 interpretada | 48 |
| Fig. 32. | Línea sísmica CP – 10 interpretada | 49 |

INFORME FINAL OPERACIONES DE CAMPO

ADQUISICIÓN DE DATOS

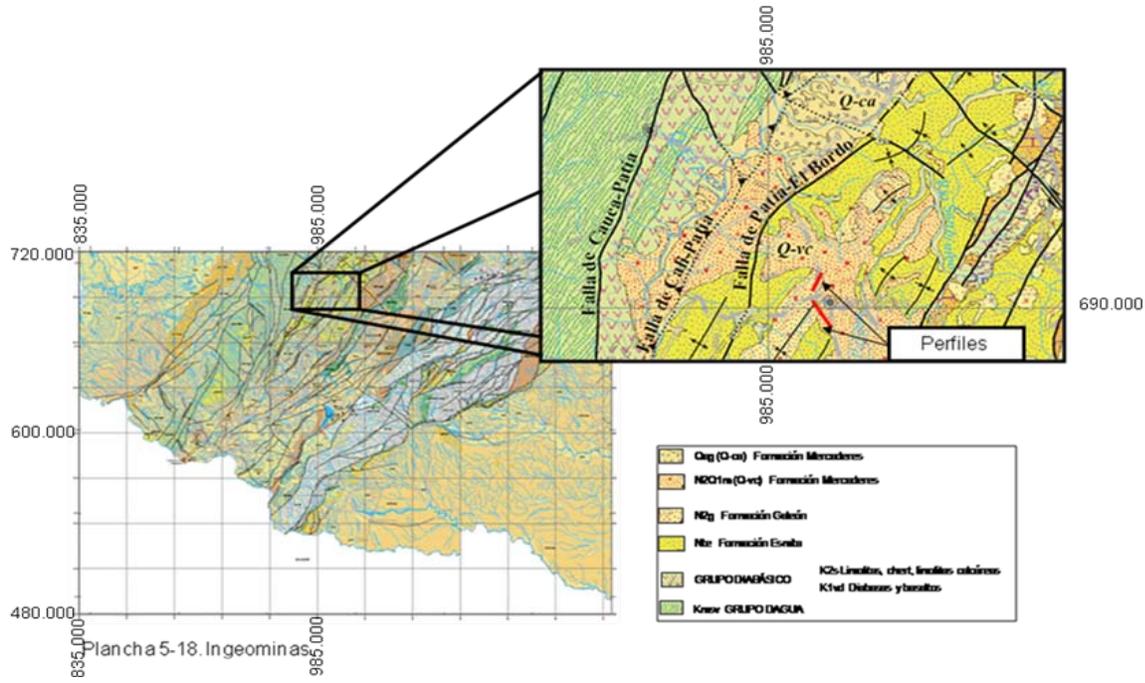


Fig. 1. Mapa del área y unidades litoestratigráficas

La adquisición de datos en campo se efectuó en Abril de 2009. Se realizó MT sobre dos perfiles dentro de la jurisdicción del municipio de Mercaderes, Cauca (Fig. 1, 2 y 3).



Fig. 2. Perfil 1.



Fig. 3. Perfil 2.

EQUIPO UTILIZADO

Equipo Modelo GDP-32 de ZONGE.

SISTEMA GDP- 32 II ZONGE

El sistema Marca Zonge Magnetotelluric System tiene los siguientes componentes:

- Receptor GDP-32 II con ocho canales
- Sensor magnético MT ANT/4
- Sensor magnético MT ANT/6
 - Acondicionador de señales SC-8

Receptor GDP-32

El receptor GDP-32II (Fig. 4) corresponde a un instrumento multicanal de Zonge Engineering's de cuarta generación destinado a la adquisición de datos electromagnéticos de campo natural y de fuente controlada que tiene las siguientes características:

- Rango de Frecuencias: 0.015625 a 8KHz, 0.0007Hz a 8KHz para MT.
- Número de canales: 8
- Software : C++ y montaje.
- Rango de Temperatura: -40° a +45°C (-40° a +115°F)
- Rango de Humedad: 5% a 100%
- Sensores internos de temperatura y humedad.
- Base de tiempo: Oscilador de cristal; proceso 5×10^{-10} por 24 horas.
- Impedancia de entrada: 10 Mohm a DC
- Rango Dinámico: 190 db.
- Señal Mínima detectable: 0.03 μ V
- Señal Máxima de voltaje: +/- 32V
- Ajuste offset SP: +/- 2.25 V en pasos de 69 μ V (automático)
- Rango de ganancia automática: 1/8 a 65,536
- Precisión de Fase : +/- 0.1 miliradianes (0.006 grados)
- Filtros: Four-pole Bessel anti-alias filter (software-controlled) Punto cuadruple, especificado por el usuario (50/150/250/450 Hz, 50/150/60/180 Hz, 60/180/300/540 Hz, etc.) Filtro telúrico digital.
- Convertidor Análogo a Digital. Resolución: 16 bits +/- 1/2 LSB

- Conversión: 17 μ sec
- Auto calibración Continua
- Un A/D por canal.

Software de adquisición:

Extended Broadband Time Series Data Recording: Desarrollado para recordar mediciones magnetotelúricas de banda ancha, este programa es capaz de grabado continuo de hasta 5 canales análogos estándar con muestreo a 32 K muestras/seg. (ancho de banda de 8 KHz con 2x sobremuestreo).

Mejoras usadas

- 66 MHz o 133 MHz 586 como procesador
- Keyboard expandida
- Pantalla gráfica 1/2-VGA
- Puerta Ethernet

Sensor Magnético ANT/4

El sensor magnético ANT/4, especialmente diseñado para estudios de MT y AMT es del tipo feedback con núcleos de mu-metal con las siguientes especificaciones:

- Rango de Frecuencia: 0.0005 to 1000 Hz
- Sensibilidad: 100 milivolt/ gamma (100 mV/nT)
- Nivel de Ruido:
 - 100 microgamma (100 fT) por raíz cuadrada_Hz a 1 Hz
 - 20 microgamma (20 fT) por raíz cuadrada_Hz nominal > 1 Hz .

Sensor Magnético ANT/6

- Rango de Frecuencia: 0.1 a 10.000 Hz
- Sensibilidad: 250 milivolt/ gamma (250 mV/nT)
- Nivel de Ruido:
 - 200 microgamma (200 fT) por raíz cuadrada_Hz a 1 Hz
 - 1 microgamma (1 fT) por raíz cuadrada_Hz nominal > 200 Hz

Receptor MT-1

Tiene las siguientes especificaciones técnicas:

- Rango de Frecuencia 0.0001 HZ a 25000 Hz
- Resolución: 0.1% en amplitud, 0.2 grados en fase
- Adquisición: 10 canales, ruido 0.2 microvolt/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Filtros de paso alto (0.001 a 0.01 y 0.1 a 1.0 Hz)
- Filtros Notch 50/60 Hz, 150/180 Hz
- Tres estados de ganancia 0-70 dB, 32 posiciones
- Series de Tiempo 0.0001 Hz a 512 Hz
- Muestro simultáneo de señales
- Control de calibración y funciones vía PC portable
- Unidad de Adquisición y Proceso: Procesador interno, dos interfases RS232
- Convertidores Análogo - Digital 16 bit A/D, Multiplexor de 32 canales
- Interfase Analógica: 20 amplificadores de muestreo
- Interfase Digital: 110 líneas paralelas de entrada salida, 10 timers programables
- 16 bits
- Tarjeta de Circuitos: 14 tarjetas tipo Eurocard
- Consumo de energía (5 watts)
- Fuente de Poder: Baterías internas 12 volts 10 a 24 horas grabación
- Portable: 51x43x22 cm, Peso 9.1 kilos.
- Visualización de Series de Tiempo y Parámetros Espectrales en tiempo real

- Sistema operado por computador portátil
- Programa fuente de adquisición disponible al operador

Sensor Magnético BF/4

El sensor magnético BF/4 especialmente diseñado para estudios de MT y AMT, tiene las siguientes especificaciones:

- Rango de Frecuencia: 0.0005 a 1000 Hz
- Sensibilidad: 100 milivolt/ gamma (100 mV/nT)
- Nivel de Ruido:
 - 100 microgamma (100 fT) por raíz cuadrada_Hz a 1 Hz
 - 20 microgamma (20 fT) por raíz cuadrada_Hz nominal > 1 Hz .

Sensor Magnético BF/6

- Rango de Frecuencia: 0.1 a 10.000 Hz
- Sensibilidad: 250 milivolt/ gamma (250 mV/nT)
- Nivel de Ruido:
 - 200 microgamma (200 fT) por raíz cuadrada_Hz a 1 Hz
 - 1 microgamma (1 fT) por raíz cuadrada_Hz nominal > 200 Hz



Fig. 4. Receptor GDP – 32

MONTAJE

El montaje para la adquisición de datos de MT consistió en electrodos desplegados bilateralmente cada 200 metros del equipo receptor. Hacia uno de los lados se desplegaron 3 electrodos de manera lineal (600 m), mientras que hacia el otro lado se desplegaron 2 electrodos de manera lineal (400 m) y uno de manera perpendicular (Fig. 5). Las bobinas se ubicaron en la estación central de monitoreo cerca (3 m aproximadamente) del equipo receptor.

La adquisición de la información eléctrica (electrodos) y magnética (bobinas) se efectuó en direcciones y en nomenclatura EMAP, cubriendo las frecuencias descritas en la tabla 1.

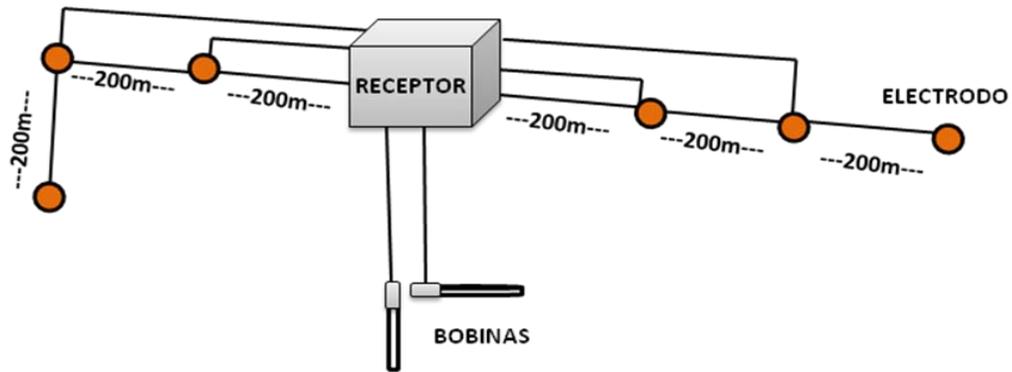


Fig. 5. Montaje MT. Disposición de electrodos cada 200 m.

| Banda | Ancho de banda (Hz) | Muestreo por montaje |
|-------|---------------------|----------------------|
| 1 | 384 - 8192 | 5 |
| 2 | 48 - 1024 | 5 |
| 3 | 3 - 64 | 5 |
| 4 | 0.0938 - 4 | 2 |

Tabla 1: Bandas de medición en el equipo ZONGE

ESTACIONES DE CAMPO

La toma de datos de los dos perfiles se realizó en línea cada 200 m, para un total de 16 puntos. (Tabla No 2, Fig. 6).

| Estación | Origen | Norte | Este |
|-----------------|---------------|--------------|-------------|
| 104 | 3 Oeste | 657887 | 689293 |
| 105 | 3 Oeste | 657792 | 689468 |
| 106 | 3 Oeste | 657711 | 689650 |
| 107 | 3 Oeste | 657613 | 689824 |
| 108 | 3 Oeste | 657511 | 689997 |
| 109 | 3 Oeste | 657435 | 690191 |
| 110 | 3 Oeste | 657656 | 690334 |
| 111 | 3 Oeste | 656000 | 691272 |
| 112 | 3 Oeste | 656022 | 691468 |
| 113 | 3 Oeste | 656091 | 691659 |
| 114 | 3 Oeste | 656130 | 691856 |
| 115 | 3 Oeste | 656242 | 692026 |
| 116 | 3 Oeste | 656600 | 692123 |
| 117 | 3 Oeste | 656178 | 691989 |
| 118 | 3 Oeste | 656133 | 691849 |
| 119 | 3 Oeste | 656156 | 692050 |
| 120 | 3 Oeste | 656151 | 692229 |

Tabla 2. Estaciones de campo.

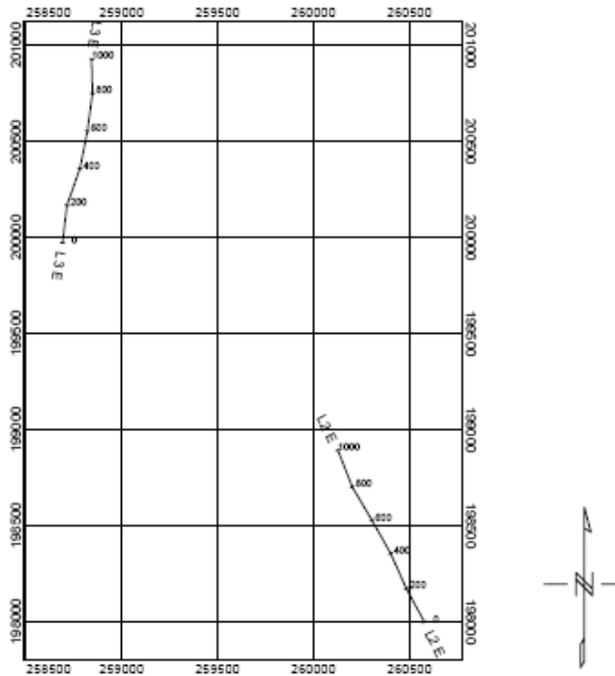


Fig. 6. Estaciones de campo.

ACTIVIDADES DE CAMPO

INTERACCIÓN CON AUTORIDADES Y COMUNIDADES LOCALES

Preliminar y durante la adquisición de datos, se realizaron entrevistas con las autoridades civiles y con la comunidad para dar a conocer el proyecto a realizar en la zona (fig. 7).



Fig. 7. Interacción con miembros de la comunidad de Mercaderes

CAPACITACIONES HSE

Antes de iniciar operaciones en campo, se impartió al personal la información necesaria acerca de seguridad industrial (uso adecuado de elementos de seguridad, actividades que no se deben realizar en campo y cuidado personal) además se les informó de las normas que se deben tener en cuenta para el cuidado de medio ambiente, así mismo se les dio la dotación pertinente para realizar el trabajo en campo.

OPERACIÓN EN CAMPO

Se realiza toda la operación con el equipo portátil, el cual, es transportado por personal de campo en arneses preparados para tal fin, por senderos y caminos habilitados.

El Equipo de trabajo (Fig. 8) fue de 10 personas conformado de la siguiente manera:

- Un Geólogo
- Dos Operadores Geofísicos
- 7 Ayudantes

Como equipamiento de apoyo se contó con:

- 2 Camperos.
- Dos computadores portátiles, Impresora, Sistema de Respaldo.



Fig. 8. *Equipo de trabajo*

TENDIDO DEL CABLE

A lo largo de los perfiles, los ayudantes de campo se encargaron del tendido del cable y de ubicar los electrodos cada 200 m, según las indicaciones previas de los operadores geofísicos y el geólogo. Este procedimiento se realizó, siempre teniendo en cuenta las recomendaciones dadas previamente acerca de la seguridad industrial y el cuidado del medio ambiente (Fig. 9).



Fig. 9. *Tendido del cable, perfil 2.*

TOMA DE DATOS

Se estableció una estación central, donde se ubico el equipo receptor y las bobinas (Fig 10). Desde este punto los operadores geofísicos realizaron el monitoreo de cada montaje. Cada montaje requiere de 4 horas aproximadamente, de las cuales 2 aproximadamente corresponden a la toma de datos.



Fig. 10. Estación central para el registro de datos.

LEVANTAMIENTO DE EQUIPO

Al finalizar cada registro, se procede a recoger el cable, los electrodos, las bobinas y el equipo receptor, para dirigirnos al siguiente punto donde se realizará un nuevo montaje para toma de datos.

Durante toda la operación de campo se trabajó considerando todas las medidas de seguridad necesarias y preocupación por el medio ambiente tal y como se planeó desde un principio realizando capacitaciones y charlas relacionadas que incentivaron y realizaron los aspectos pertinentes a la seguridad en campo, al respeto y cuidado del ambiente.

CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS ADQUIRIDOS

Se realizó diariamente control de calidad de los datos adquiridos, con el fin de detectar cualquier anomalía de estos y proceder a repetirlos de ser necesario, cabe anotar que durante el presente trabajo no fue necesario repetir ningún punto.

El procedimiento de control de calidad se realizó con el software *MTEdit v2.00*, el cual permite visualizar registros eléctricos (fig. 11). Este procedimiento se realizó diariamente al final de cada jornada de trabajo para verificar la existencia y la calidad de los datos tomados.

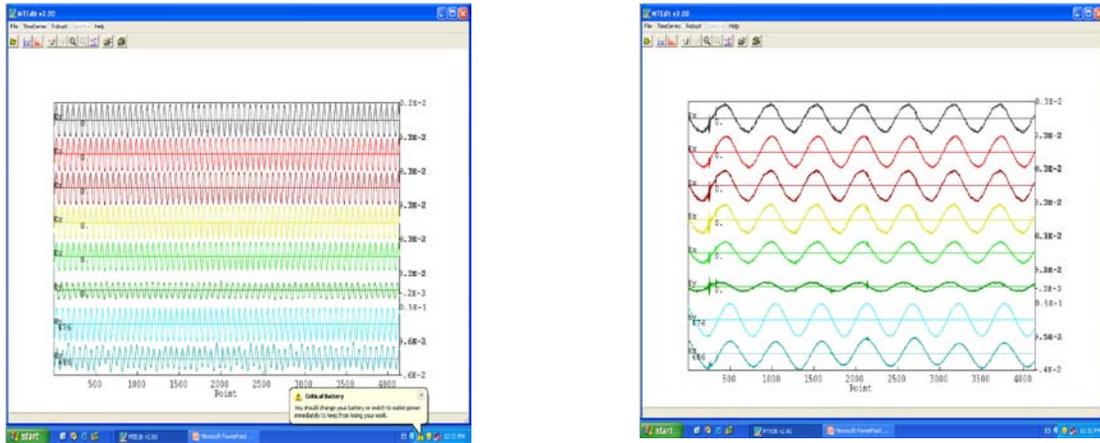


Fig. 11. Registros eléctricos visualizados en MTEdit v2.00.

INFORME FINAL PROCESAMIENTO

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

MAGNETOTELÚRICA (MT)

- Medida pasiva en superficie de las variaciones del campo eléctrico natural y del campo magnético de la tierra en el dominio de la frecuencia.
- Se determina el tensor de impedancia en la superficie y se calcula la resistencia aparente y la fase en función de la frecuencia.
- Rango de frecuencia: 10kHz - 0.001 Hz.
- Se infiere la estructura geológica, a partir de los cambios de resistividad en el subsuelo.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La relación entre el campo magnético y eléctrico se establece mediante las ecuaciones de Maxwell.

En MT se considera que el campo magnético se comporta como una onda plana y el medio es más conductor que el producto de la constante dieléctrica por la frecuencia (Aproximación cuasiestática - Se considera como una onda de baja frecuencia).

- Ecuación de Helmholtz. $\nabla^2 \mathbf{E} + (\omega\mu\epsilon - i\sigma\omega)\mathbf{E} = 0$
$$d^2 E_x / dz^2 + k^2 E_x = 0$$
- Aproximación cuasiestática. $\sigma \gg \epsilon\omega$
Impedancia. $\mathbf{Z} = \mathbf{E}_x / \mathbf{H}_y = \mu\omega / k$
- Fase. $\rho_a = (1/\mu\omega) | \mathbf{E}_x / \mathbf{H}_y |^2$
- Resistividad Aparente. $\delta = (2/\mu\omega\sigma)^{1/2}$
- Profundidad de Investigación. $\approx 0.5(\rho T)^{1/2}$ (km)

$$\omega = 2\pi f \quad \mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

PARÁMETROS

$$[\log(\rho_1), \log(\rho_2), \dots, \log(\rho_{n_r+1}), \\ \ln(d_{11}), \dots, \ln(d_{1n_c}), \dots, \ln(d_{n_r1}), \dots, \ln(d_{n_r n_c})],$$

ρ_i : Resistividad eléctrica en la capa i.

d_{ij} : Profundidad de la base columna j en la capa

VALORES DE LA RESISTIVIDAD

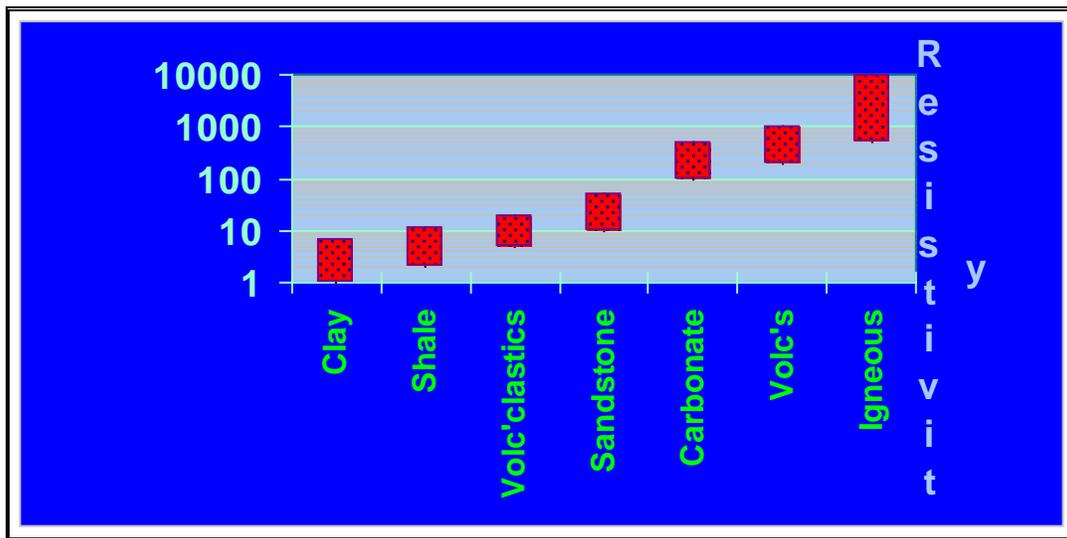


Fig. 12. Valores aproximados de resistividad para las diferentes litologías

PROFUNDIDAD DE INVESTIGACIÓN

- La profundidad de investigación depende de la frecuencia y de la resistividad bajo la superficie.
- Baja frecuencia : penetración profunda.
- Alta frecuencia : penetración superficial.

- “La profundidad piel”, es una estimación aproximada de la profundidad de investigación en función de la frecuencia y de la resistividad.

MT – FUENTES DE CAMPO

- **Altas frecuencias (>1 Hz)**
 - Descargas eléctricas de la atmósfera.
- **Bajas frecuencias (<1 Hz) : Micropulsaciones.**
 - Interacción de vientos solares con el campo. magnético de la tierra.
- **Variaciones y ciclos horarios, diurnos y anuales.**



Fig. 13. Deflexión del campo magnético de la tierra por el viento solar

CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD Y LA FASE

- Se mide el tensor de impedancia en la superficie.
- Se calcula los valores de la resistividad (r_{xy} , r_{yx}) para pares ortogonales de sensores de E y de H en direcciones horizontales.
- Se calcula la fase en función de la frecuencia.

CARACTERÍSTICAS DE INVESTIGACIONES – MT

- **Detalle:** Espaciado entre perfiles = 0.5 km.
- **Reconocimiento:** Espaciado entre perfiles = 1.0 –5.0 km.
- **Rendimiento adquisición:** 5-10 estaciones/día.

MT - ADQUISICIÓN

- Cinco parámetros en cada estación.
 - Ex Ey Hx Hy Hz
- Dos a cinco estaciones simultáneamente.
- Sincronización entre estaciones - GPS.
- 24-horas de registro/disposición/recolección.
- Control de calidad de la información: Pre-proceso en campo.

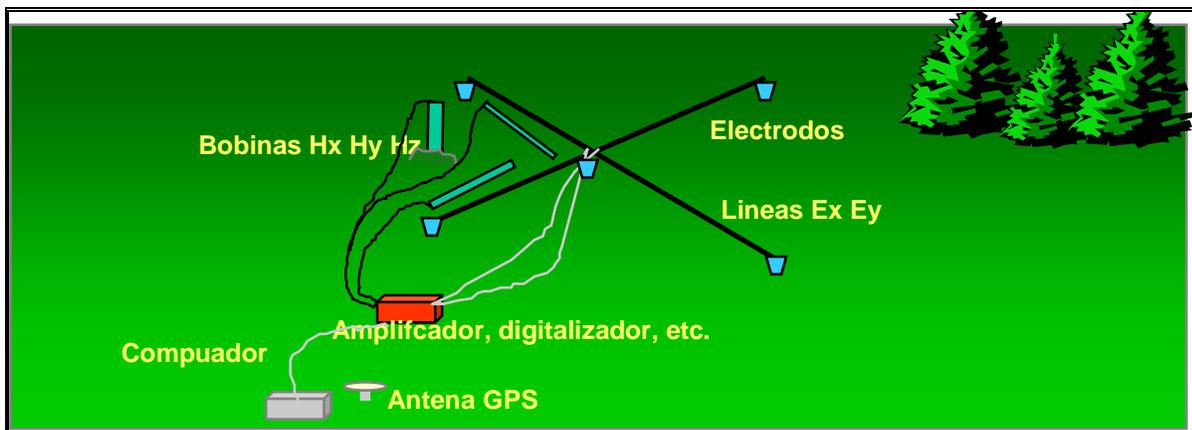


Fig. 14. Diseño general para la adquisición de información magnetotelúrica

MT – ESTÁTICAS

- **Distorsiones del campo eléctrico** cerca a la superficie.
 - Variación de la resistividad en la superficie.
- **Cambio en los datos a causa de la “Estática”**
 - Cambios de los datos a lo largo de la curva en todas o en algunas frecuencias.
- **La mejor corrección: TDEM.**
 - Adquisición de datos TDEM en el centro de la estación. Interpretar para puntos cerca de la superficie.
 - Incorporar los datos TDEM en la curva de MT.

MT - PROCESO

- **Control de Referencia – Remota.**
 - Chequeo de la coherencia entre las series de tiempo de las estaciones.

- **Edición de los datos en el dominio del tiempo y de la frecuencia.**

- **Proceso de filtrado** para remover el ruido aleatorio y el proveniente de otras fuentes. Mejorar la calidad de la información.

MODELO ROUGHNESS – MT

PROBLEMA DIRECTO – PROBLEMA INVERSO

$$R = \|S\mathbf{m}\|^2$$

S: Matriz que corresponde a un operador de primera derivada en diferencias finitas.

m: Parámetros del modelo.

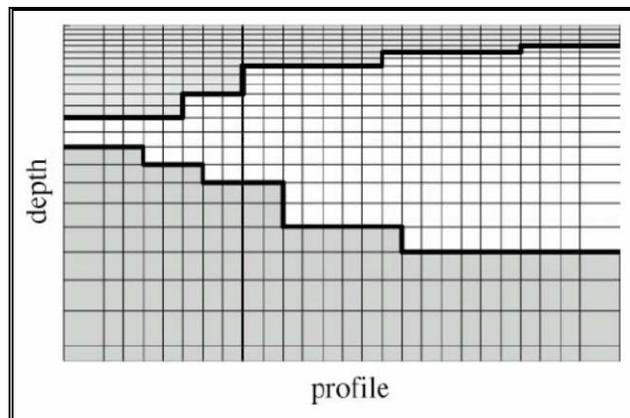


Fig. 15. Modelo Roughness

El modelo consta de varias capas con una resistividad uniforme pero que pueden variar en espesor lateralmente en un semi-espacio. Cada unidad de resistividad está subdividida en una grilla.

Modelo

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} \mathbf{S}_{rho} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{S}_{dep} \end{pmatrix} \quad \mathbf{S}_{rho} = \begin{pmatrix} c & -c & 0 & 0 & \dots \\ 0 & c & -c & 0 & \dots \\ & & \dots & & \\ & & & c & -c \end{pmatrix} \quad \mathbf{S}_{dep} = \begin{pmatrix} S_1 & \mathbf{0} & \dots \\ \mathbf{0} & S_2 & \mathbf{0} & \dots \\ & \dots & & \\ & \dots & \mathbf{0} & S_{nr} \end{pmatrix}$$

C: Constante que controla el peso relativo entre las capas y el contraste de resistividad. Actúa solamente sobre los parámetros de la resistividad

Si: Diferencias entre los parámetros de las profundidades del modelo entre columnas adyacentes lateralmente en la capa i.

Actúa solo sobre los parámetros de profundidad.

Se minimiza el modelo y se ajusta a los datos, encontrando un punto estacionario de la función:

$$U = \|\mathbf{S}\mathbf{m}\|^2 + \mu^{-1}[\|\mathbf{W}(\mathbf{d} - \mathbf{F}[\mathbf{m}])\|^2 - \chi_*^2]$$

Linealización: Se expande la función en una serie de Taylor y se trunca en los dos primeros términos

$$\mathbf{F}[\mathbf{m}_i + \Delta\mathbf{m}] = \mathbf{F}[\mathbf{m}_i] + \mathbf{J}_i \Delta\mathbf{m}$$

F[mi]: Solución al problema directo

d : Datos de campo.

Ji : Matriz Jacobiana : Multiplicadores de Lagrange.

W : Matriz diagonal de enteros proporcional a los errores.

: Nivel deseado de ajuste para el modelo

ALGORITMO

Ecuación de Recurrencia

$$\mathbf{m}_{i+1} = [\mu(\mathbf{S}^T \mathbf{S}) + (\mathbf{WJ}_i)^T (\mathbf{WJ}_i)]^{-1} (\mathbf{WJ}_i)^T \mathbf{W} \hat{\mathbf{d}}_i$$

$$\hat{\mathbf{d}}_i = \mathbf{d} - \mathbf{F}[\mathbf{m}_i] + \mathbf{J}_i \mathbf{m}_i$$

Constable et al. (1987)

PROCESAMIENTO DE DATOS

SISTEMA ZONGE

La información de terreno corresponde a series de tiempo que son procesadas con software de Zonge (SW-MTEDIT), utilizando criterios de coherencia entre las señales eléctricas y magnéticas, y de continuidad de las curvas de resistividad aparente y de fase, para cada estación. También se origin los efectos de estática mediante la aplicación de funciones polinomiales a la resistividad en altas frecuencias de cada perfil.

Los datos de terreno son procesados con el propósito de determinar resistividades eléctricas en función de la profundidad para lo cual se considera el análisis de los campos eléctricos y magnéticos a diferentes frecuencias. Los datos procesados son luego modelados mediante un sistema de inversión bidimensional que da como resultado una sección de resistividad a lo largo del perfil.

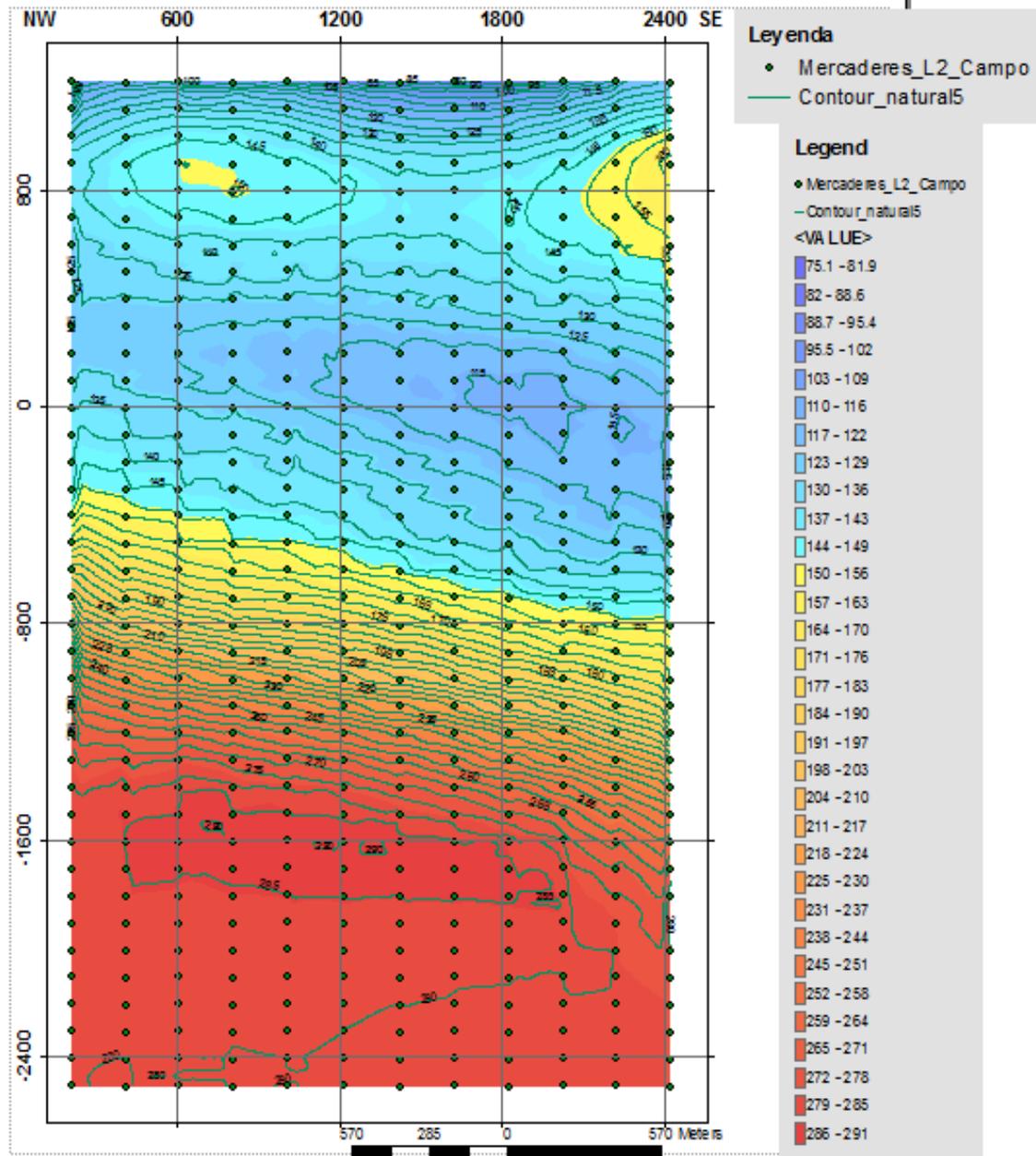


Fig. 16. L-2. Valores de resistividad.

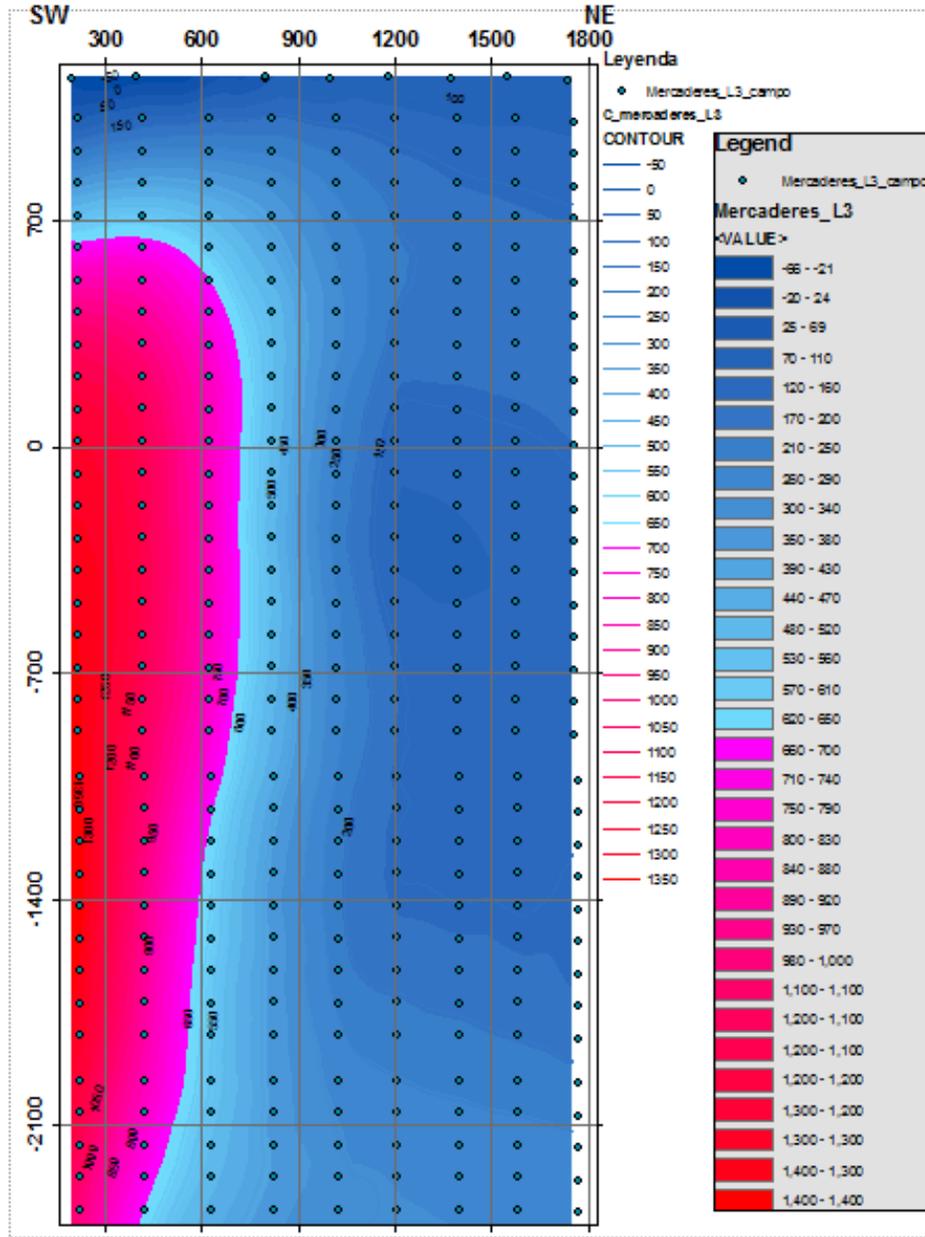


Fig. 17. L-3. Valores de resistividad.

INVERSIÓN 2D DE DATOS MT

En este trabajo se usará el programa SW-SCS2D smooth model inversion routine desarrollado por ZONGE.

Como complemento para el proceso de interpretación de los datos mediante modelado por inversión se usará el sistema basado en la técnica de regularización de Tikhonov e incluido en el software WinGlink (Versión 2.1.02) de proceso y modelamiento de datos de AMT y MT.

Los resultados de la inversión de los perfiles son exportados del programa a archivos de formato XYZ, que son tomados con el software Oasis-Geosoft para su representación en sección de resistividad en función de la profundidad. Los resultados serán interpretados desde una perspectiva geológica, incorporando todas las inferencias y restricciones impuestas por la geología. En caso de ser necesario, el geofísico Jefe de Proyecto estará dispuesto a trabajar en las dependencias del cliente con el fin de usar la información geológica y permitir la colaboración del o los geólogos del proyecto.

Manipulación de datos y análisis: edición de datos; transformación de Bostick; rotación del tensor de impedancias; interpolación de datos; selección de sitios y frecuencias; definición de modos TE y TM; corrección y análisis de estática. Inversión RRI: Programa de inversión rápida en dos dimensiones desarrollado a partir de algoritmo de Smith & Booker (1991). Este módulo incluye la selección de datos para la inversión, elección de parámetros y el manejo gráfico y digital de las soluciones del proceso de inversión.

Inversión RM2D: Programa de inversión en dos dimensiones desarrollado a partir de algoritmo de Mackie (1992). Este módulo incluye la selección de datos para la inversión, elección de parámetros y el manejo gráfico y digital de las soluciones del proceso de inversión.

Modelación directa PW2D: Programa de modelación directa en dos dimensiones desarrollado a partir de algoritmo por elementos finitos de Wannamaker et al. (1987) y Wannamaker (1989). Este módulo incluye la selección de frecuencias; construcción del modelo; manejo gráfico y digital de las soluciones del proceso de modelación.

REFERENCIAS

- Mackie R., 1992, Magnetotelluric inversion for minimum structure: *Geophysics*, 53, 1565-1576.
- Smith, J.T., and Booker, J.R. 1991, Rapid inversion of two and three-dimensional magnetotelluric data, *J. of Geophys. Res.*, 96, 3905-3922,.
- Wannamaker, P.E., Stodt, J. A. and Rijo, L., 1987, A Stable Finite-Element Solution for Two-Dimensional magnetotelluric Modeling: *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, 88, 277-296.
- Wannamaker, P.E., 1989, PW2D's User Documenttation-Finite Element Program for Solution of Magnetotelluric Responses and Sensitivities for Two-Dimensional Earth
- Resistivity Structure: University of Utah Research Institute, ESL-89043-TR.

INFORME FINAL DE INTERPRETACIÓN MAGNETOTELÚRICA MERCADERES, CAUCA

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se presenta un modelo geológico obtenido a partir de la interpretación de datos de magnetotelúrica, tomados en dos líneas una de 2.4 km., y otra de 1.7km. (4.1) km., ubicadas cerca al Municipio de Mercaderes en el Departamento del Cauca. Con el fin de establecer o ubicar un área potencialmente productora de hidrocarburos.

Se tomo como base la información geológica existente.

METODOLOGÍA

Para lograr la estructuración del presente trabajo se integraron e interpretaron los datos magnetotelúricos adquiridos en campo con las observaciones geológicas y algunos trabajos existentes de la región.

El trabajo se realizó en tres fases,

1º Fase de oficina - Compilación y análisis de la información existente disponible.

2º Fase de campo - Adquisición de datos de magnetotelúrica.

3º Fase de integración - Se integraron los datos adquiridos en campo y los datos procesados para obtener la interpretación que presentamos en este informe.

LOCALIZACIÓN

En el área de mercaderes se registraron dos líneas (Fig.18 y 19), con una longitud total de 4.1 km., en cercanías del casco urbano del municipio.



Fig. 18. Imagen satelital

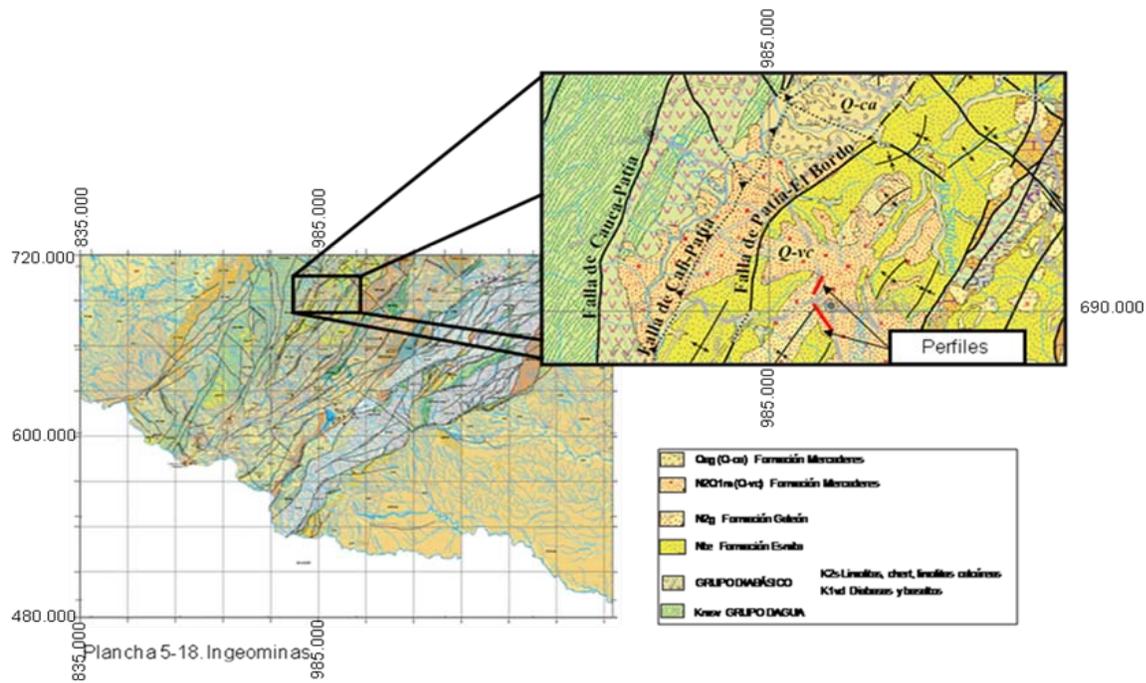


Fig. 19. Localización perfiles

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

El Departamento del Cauca se encuentra localizado al suroeste de Colombia, limita al norte con el Valle del Cauca y Tolima, al oriente con los departamentos de Huila y Caquetá, al sur con los departamentos de Putumayo y Nariño, y al occidente con el océano Pacífico, con una extensión de 29.308 km².

Se diferencian dos tipos de morfología predominantes, la cordillera al oriente que ocupa la mayor parte y la Llanura Pacifica al occidente, cada una de estas unidades se dividen en subunidades que determinan sectores con características propias, como respuesta a las diversas litologías presentes y a los agentes modeladores de la morfología.

Tiene variadas formas morfológicas, lo que le permite poseer variaciones climáticas, desde las más frías en el nevado del Huila (5.750 m) y los volcanes de Puracé y Sotará, hasta las tierras bajas de la costa.

HIDROGRAFÍA

En su sistema hidrológico cuenta con los ríos Magdalena, Cauca y Caquetá. Otros ríos que atraviesan el territorio

son el Cajibío, el Guapí, el Jambaló, el Micay, el Patía, el Páez y el Timbiquí.

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE TRABAJO

Los dos perfiles magnetotelúricos se realizaron en zonas aledañas al casco urbano del municipio de Mercaderes, Cauca (Fig. 20), a 974 m sobre el nivel del mar, y una temperatura promedio de 22°C. El primer perfil se realizó en un área plana correspondiente al aeropuerto del municipio, y el segundo se realizó en un área de topografía montañosa.

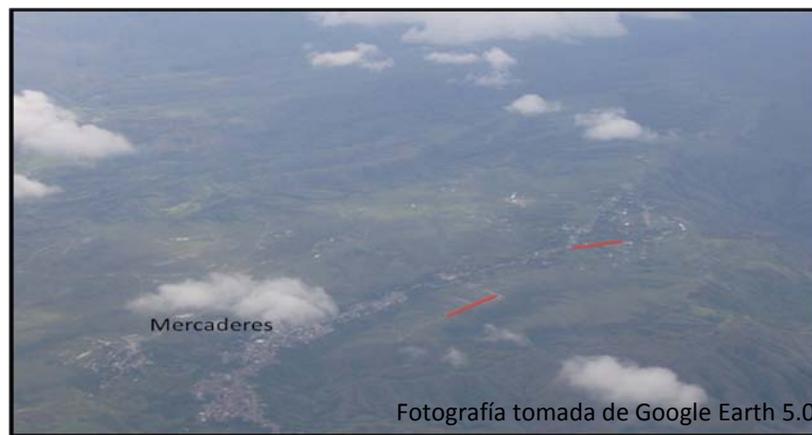


Fig. 20. Ubicación perfiles magnetotelúricos

ESTRATIGRAFÍA

El área del proyecto se encuentra ubicada en la cuenca del Cauca y las unidades geológicas van del Cretáceo al reciente.

GRUPO DIABÁSICO

AUTOR: El Grupo Diabásico (en el sentido de NELSON, 1959) (= Serie de Faldequera de HUBACH & ALVARADO, 1934) y el Grupo de Dagua, en el sentido de NELSON (1959) (= formaciones Espinal y Dagua de HUBACH, 1957b).

SECCIÓN TIPO: El Grupo Diabásico está representado en la Cordillera Occidental y en el flanco W de la Cordillera Central.

LITOLOGÍA: Constituido principalmente por materiales volcánicos, principalmente de tipo diabásico; los sedimentos forman intercalaciones, por lo general relativamente débiles (NELSON, 1959) dentro del conjunto diabásico. El contacto superior es discordante con las Formaciones de Terciario.

EDAD: Cretácico.

FORMACIÓN PEÑAMORADA

LITOLOGÍA: Compuesto de calizas bituminosas, limolitas ferruginosas y conglomerados polimícticos, con matriz lodosa de color verde,

EDAD: Paleoceno - Eoceno

FORMACIÓN MOSQUERA

AUTOR: L. RADELLI, 1967.

SECCIÓN TIPO: Su nombre deriva probablemente del Caserío Mosquera al SW de Popayán (Depto. del Cauca).

LITOLOGÍA: RADELLI (1967, p. 335) introduce este término para referirse a las rocas que GROSSE (1935, pp. 161-168) denominó "Eoterciario". Esta unidad consta de conglomerados, areniscas y arcillas de color gris o violeta, con capas de carbón. RADELLI le da un espesor de unos 300 m.

La Formación Mosquera reposa discordante sobre rocas más antiguas (Asociaciones de Antioquía y Cali) e infrayace a la Formación El Bordo. Aunque RADELLI cita análisis polínicos realizados por VAN DER HAMMEN no se conocen datos paleontológicos de esta unidad.

EDAD: La edad sería Oligoceno superior y según RADELLI se correlacionaría con las Miembros Suárez y Patía de la Formación Cauca superior de la Cuenca de Cali.

FORMACIÓN ESMITA

LITOLOGÍA: Secuencia de arenitas, arcillolitas y conglomerados polimícticos con fósiles de gasterópodos y lamelibranquios, con algunos rezumaderos de petróleo.

EDAD: Mioceno Inferior

FORMACIÓN GALEÓN

AUTORES : J. KEISER, W. NELSON & Th. VAN DER HAMMEN (1955 fide VAN DER HAMMEN 1958).

SECCIÓN TIPO: VAN DER HAMMEN señala como sección tipo el Alto del Galeón al S de Quilcasé. Este nombre ha sido introducido como sustituto del "Neoterciario" (véase) de GROSSE (1935). Sin embargo anteriormente HUBACH (1957b, p. 8) había introducido ya el nombre de Formación Pedregal. Recientemente RADELLI (1967, p. 337) emplea la Formación Galeón en el mismo sentido de VAN DER HAMMEN y le da un espesor inferior a los 100m.

LITOLOGÍA: Flujos piroclásticos y epiclástitas

EDAD: Mioceno sup. (Tortoniano) ?

FORMACIÓN POPAYÁN

SECCIÓN TIPO: Municipio de Inza

LITOLOGÍA: Se diferencian tres miembros de la Formación Popayán:

Miembro La Venta: Está constituido por depósitos de flujo de ceniza y ceniza caída, con un espesor promedio de 40 m. se presenta cubriendo el piedemonte de la Cordillera Central. Los flujos de ceniza son arcillas de color amarillo ocre, ocasionalmente fragmentos líticos finos. Las cenizas de caída son de color amarillento compuesto por cristales de cuarzo, plagioclasa y mica, embebidos en arcilla.

Miembro San Andrés: INGEOMINAS propone este nombre para agrupar rocas volcánicas de edad neógena, está constituido por aglomerado fluvio volcánicos compuestos por bloque subangulares a subredondeados de andesitas, pórfidos andesíticos y metamórficas, con espesores hasta de 25 m. separados por capas de arenitas pumáceas de color gris crema.

Miembro Polindara: Aflora en la cima de la Cordillera Central .

EDAD: Cuaternario

COLUMNA ESTRATIGRAFICA MERCADERES

| ERA | PERIODO | SERIE | FORMACION | LITOLOGIA | ESPESOR m. | BATIMETRIA | | | | | RESISTIVIDAD Ohm |
|-----------|-------------|-------------|------------|-----------|---------------|------------|-----|---|----|---------|---------------------|
| | | | | | | C-A | C-F | L | PL | LL-A | |
| CENOZOICO | CUATERNARIO | HOLOCENO | POPAYAN | | 200-250 | | | | | | 60-100 |
| | | PLEISTOCENO | | | | | | | | | |
| | NEÓGENO | PLIOCENO | GALEON | S | | 100-200 | | | | | 100-140 |
| | | | | I | | 200-250 | | | | | 180-200 |
| | | MIOCENO | ESMITA | S | | 300-550 | | | | | 110-140 |
| | | | | I | | 200-250 | | | | | 80-100 |
| | PALEOGENO | OLIGOCENO | MOSQUERA | | 300-450 | | | | | 160-180 | |
| | | EOCENO | PEÑAMORADA | | 200-250 | | | | | 310-330 | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | PALEOCENO | | | | | | | | | |
| MESOZOICO | CRETACEO | SUPERIOR | CHAPUNGO | | 1500 | | | | | 1500 | |

Fig. 21. Columna estratigráfica generalizada con intervalos de resistividades medidas y estimadas para el área de trabajo.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

A nivel regional el área se encuentra en la zona de influencia de los sistemas de fallas de Romeral y Cauca Patía, la zona ha sido afectada por eventos magmáticos que han tenido lugar desde el Jurásico.

El área de estudio se encuentra en la zona de influencia de las Fallas Patia – El Bordo hacia el occidente y la Falla Taminango- Mosquerillo al Este, en el área se encuentran varias estructuras sinclinales y anticlinales, como el Sinclinal de Mercaderes y el Anticlinal de Reyes.

ESTILO ESTRUCTURAL.

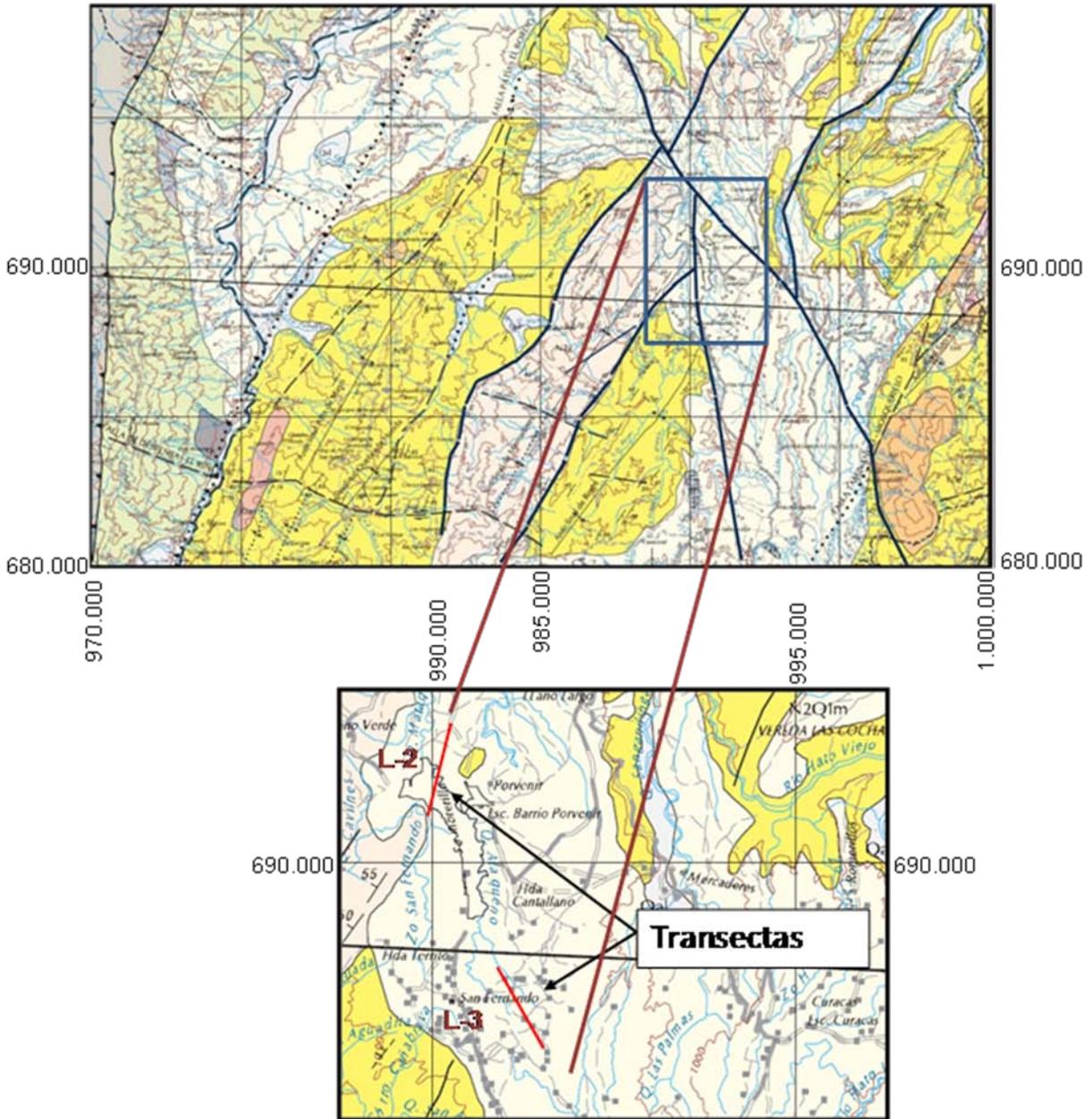


Fig. 22. Mapa geológico generalizado área de influencia de Mercaderes y ubicación de líneas de magnetotelúrica..

INTERPRETACIÓN PERFILES MAGNETOTELÚRICOS

En el área de Mercaderes Cauca se adquirieron datos de magnetotelúrica en dos sectores: Líneas (L-2) y (L-3), (Fig.22), Estos datos fueron procesados e interpretados teniendo en cuenta todos los cambios y anomalías de resistividades. En el presente documento mostramos la forma como fueron interpretadas las diferentes unidades geológicas (litología y espesores) encontradas en el área y las principales estructuras presentes.

LINEA L-2

En la Fig. 23, se ven los contornos de resistividades en intervalos de 25 ohm. Representados en gama de colores azul a rojo, en este esquema se pueden ver las principales variaciones que determinan tipo de litología, espesor y principales estructuras. En la Fig. 24 se observa la gama completa de colores.

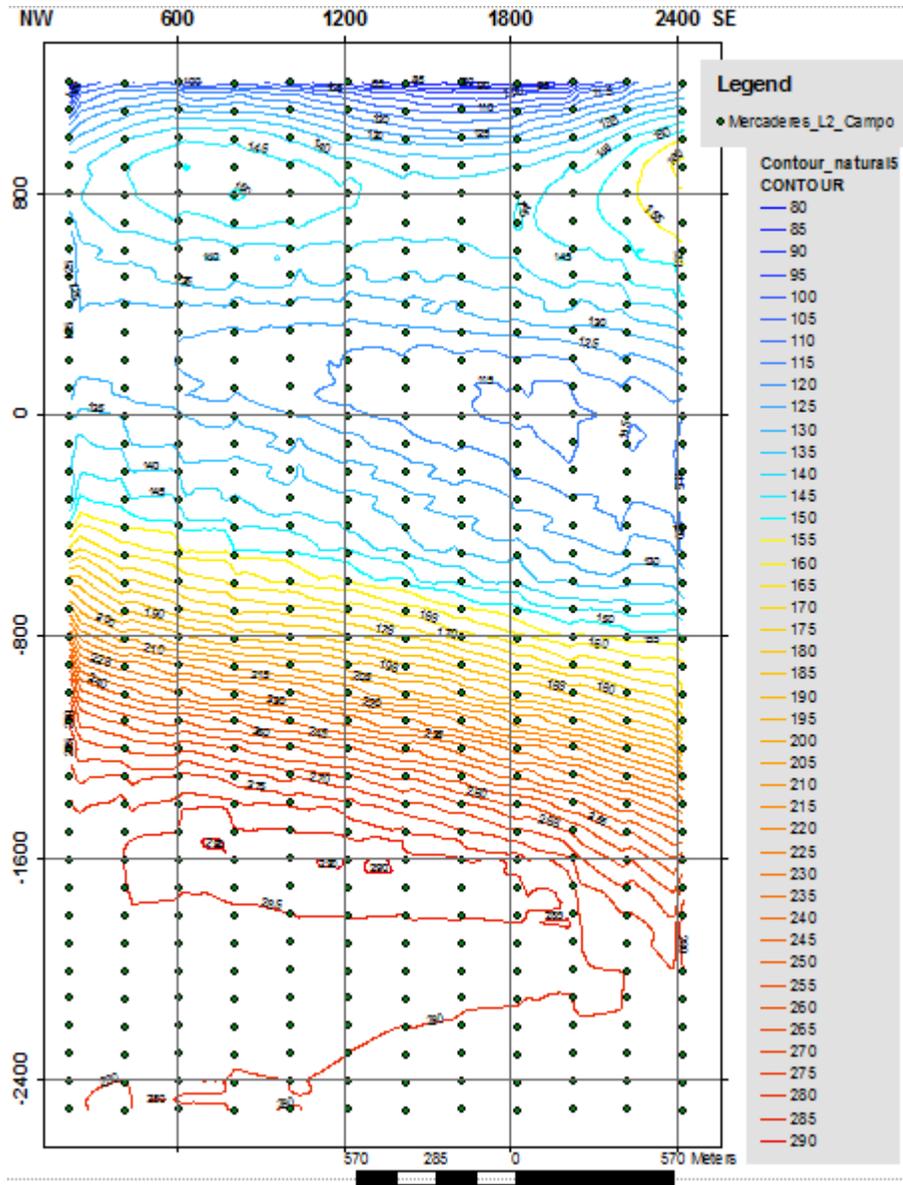


Fig. 23. Contornos de resistividades

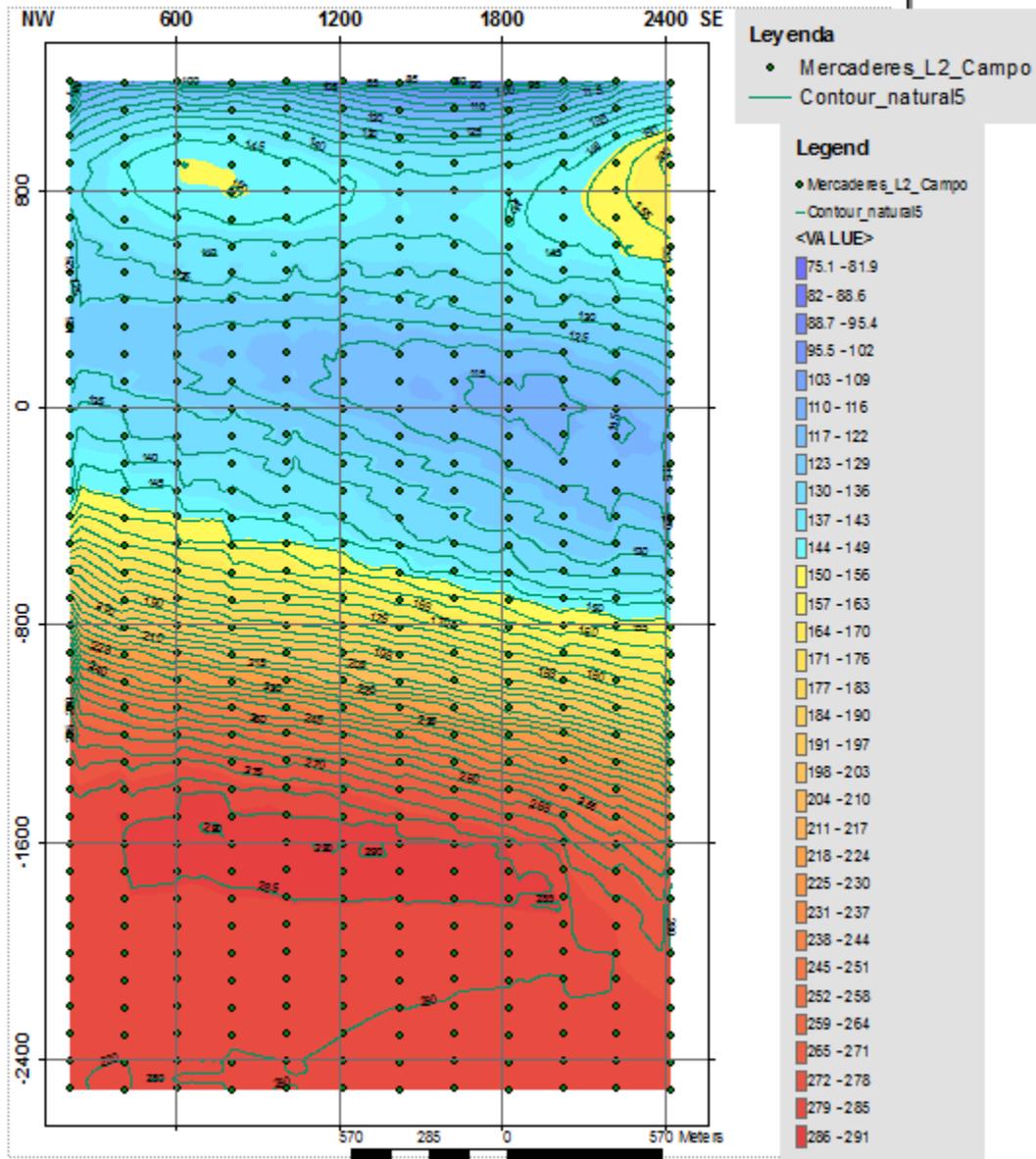


Fig. 24. Valores de resistividad en rangos de colores

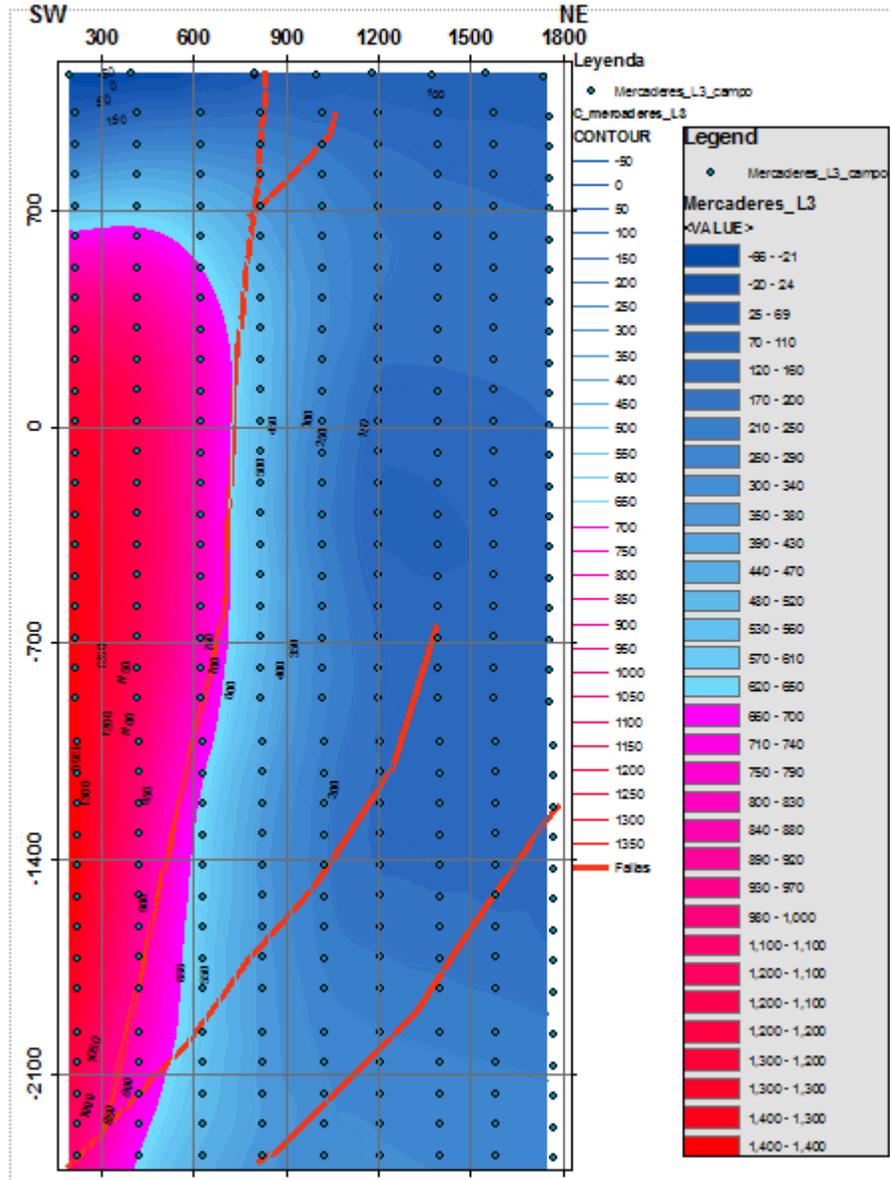


Fig. 25. Interpretación estructural línea L-2

El perfil de la Fig. 25 se ve una serie de fallas con rampas laterales con un ángulo de aproximadamente 45°, que involucran sedimentos del Cretáceo o Terciario, sin llegar a tener expresión en superficie.

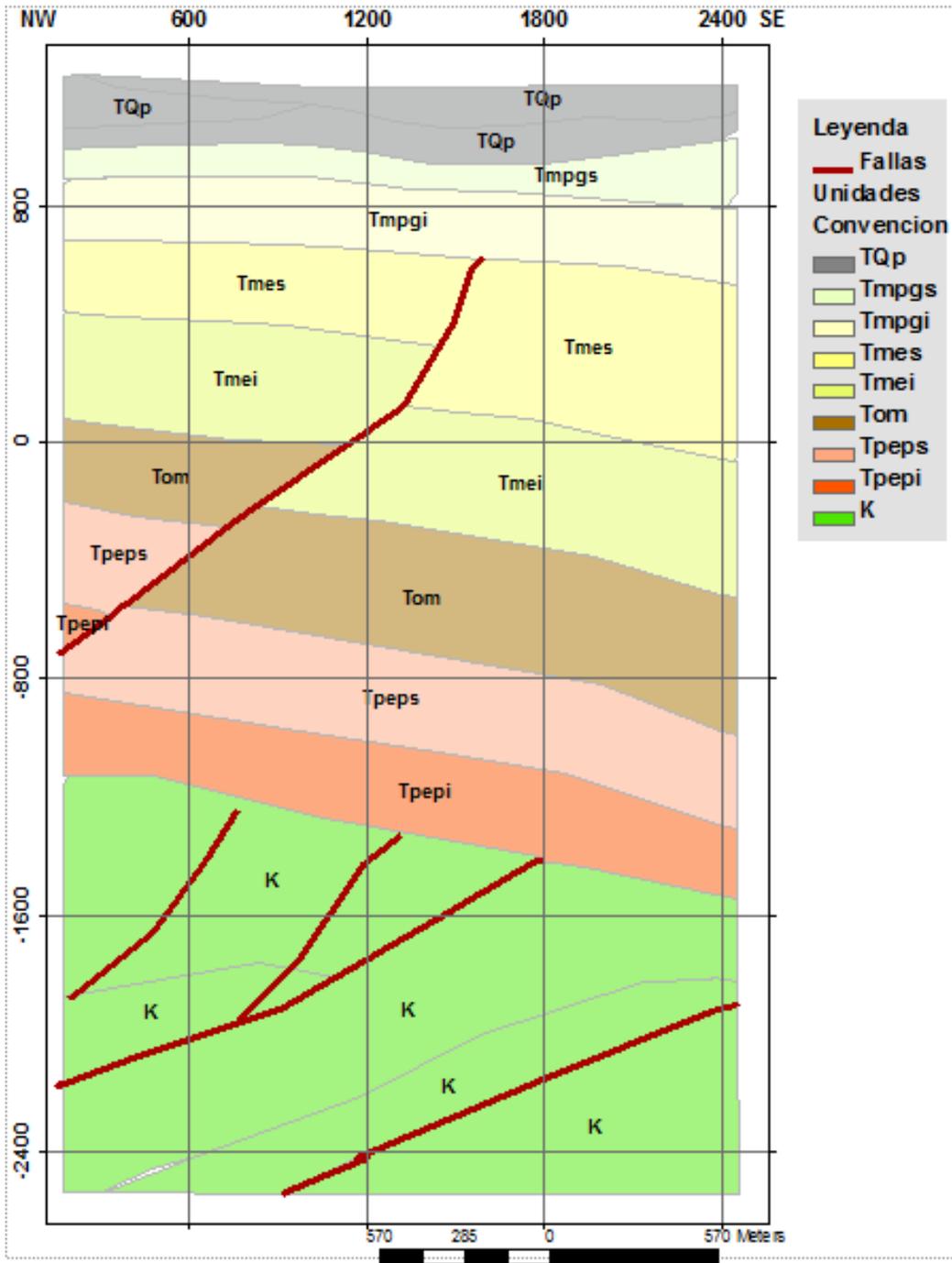


Fig. 26. Interpretación Geológica final línea L-2

La Fig. 26 es la interpretación final de esta línea de magnetotelúrica, a partir de la cual se calcularon los espesores de las diferentes unidades geológicas, así como las resistividades promedio y la litología de cada una. Ver tabla Nº 3.

| INTERVALO DE RESIST. (Ohm/m) | ESPESOR (m) | UNIDAD ESTRATIGRAFICA | OBSERVACIONES | |
|-------------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 60 - 100 | 200 – 250 | POPAYÁN | <i>La presencia de tobas aumenta la resistividad del paquete clástico</i> | TQp |
| 210-230 | 100-200 | GALEÓN SUPERIOR | <i>Los paquetes de conglomerados presentan variación de composición y de fluidos por lo que se observa una variación importante lateralmente</i> | |
| 180 - 200 | 200 – 250 | GALEÓN INFERIOR | <i>La relación discordante con la unidad inferior genera un contraste importante en resistividades</i> | |
| 110-140 | 300-550 | ESMITA | | Tmes |
| 180-200 | 200-250 | | | Tmei |
| 160 – 180 | 300 - 450 | MOSQUERA | | Tom |
| 100-115 | 350 | PEÑAMORADA | | Tpeps |
| 310-330 | 200-250 | | | Tpepi |
| 275 – 300 | >1000 | GRUPO DIABÁSICO (CHAPUNGO) | | K |

Tabla N° 3. Intervalo de resistividades y espesores de las unidades estratigráficas de L-2.

LINEA L-3

De igual manera como se interpreto la línea L-2, se tuvieron en cuenta todos los cambios y anomalías en las resistividades para determinar, unidades geológicas, espesores y principales estructuras que afectan el área de esta línea.

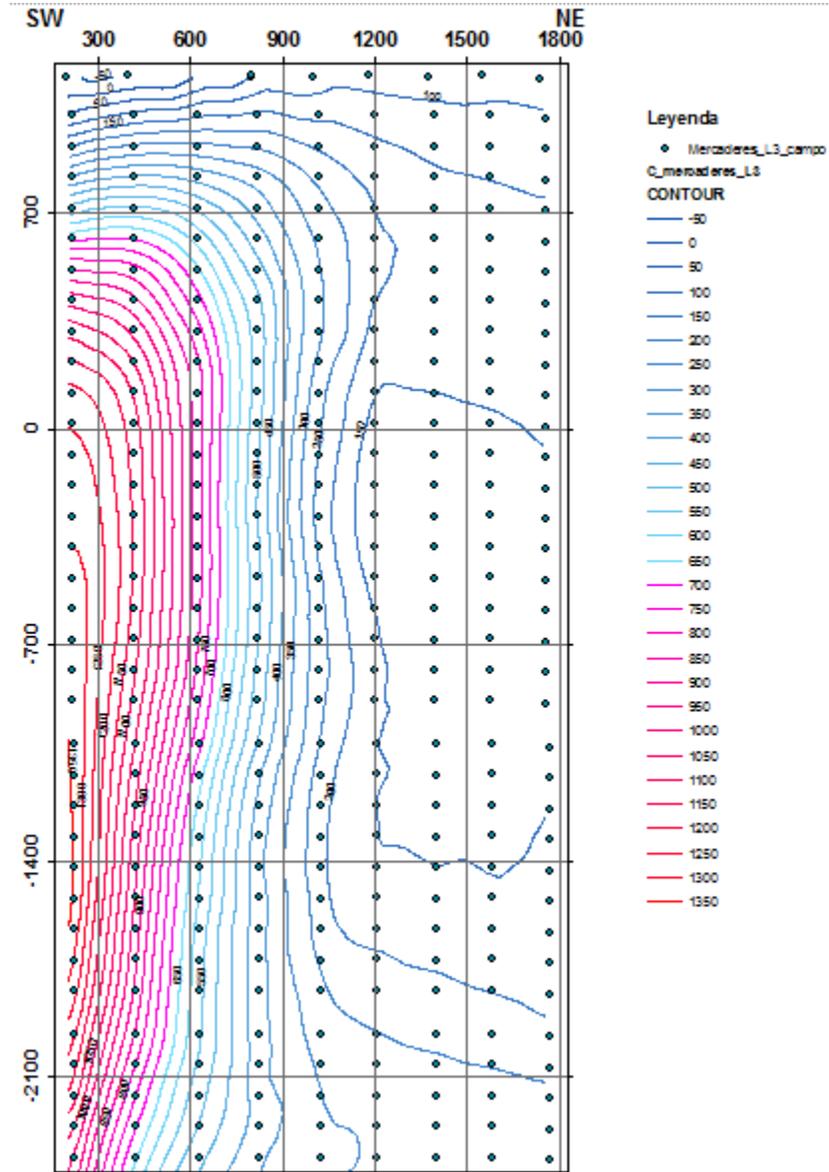


Fig. 27. Contornos de resistividades línea L-3, con rangos de resistividad cada 100 ohm.

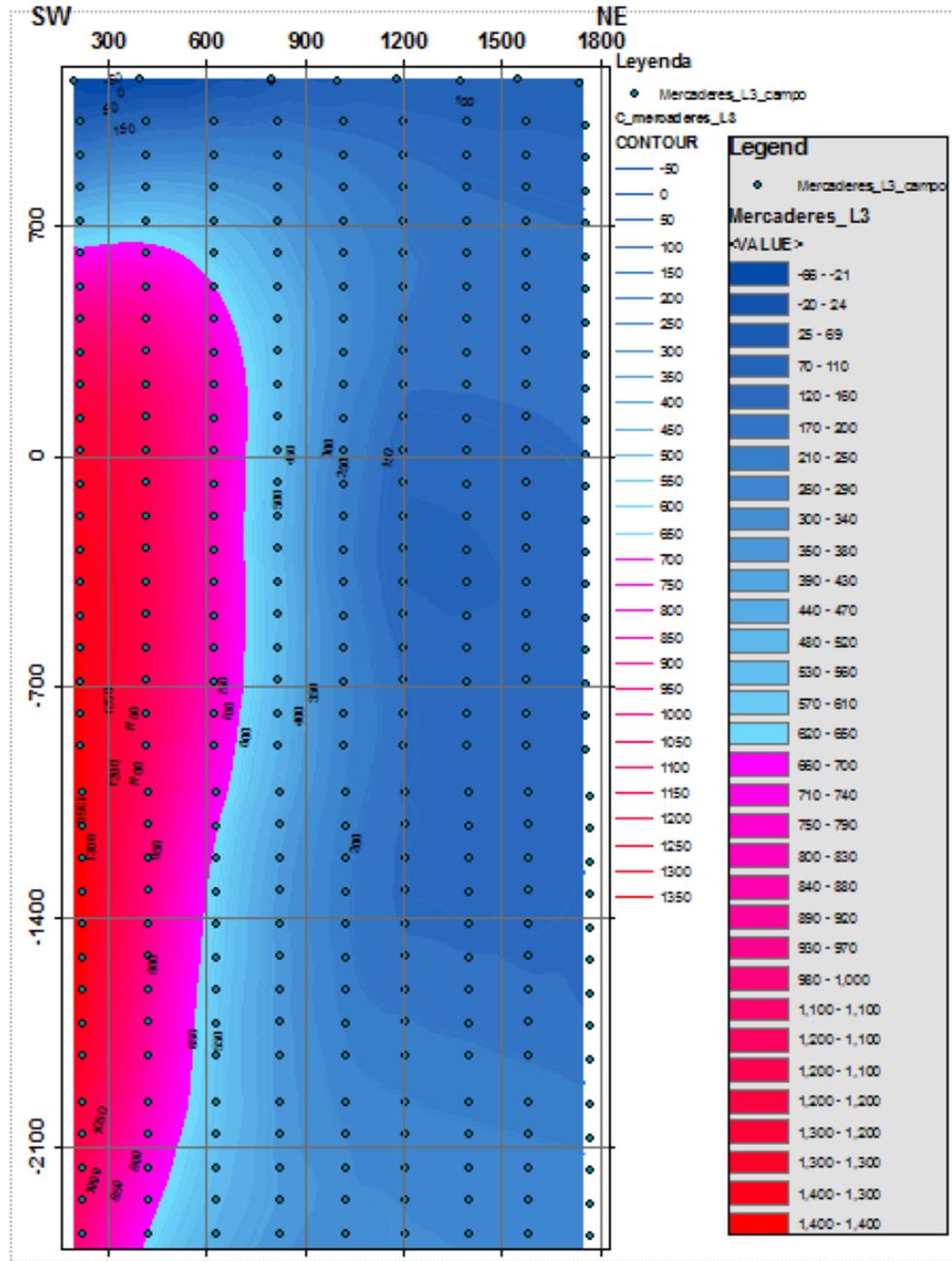


Fig. 28. Valores de resistividad, línea L-3 con gama de colores de azul a rojo de menor a mayor valor

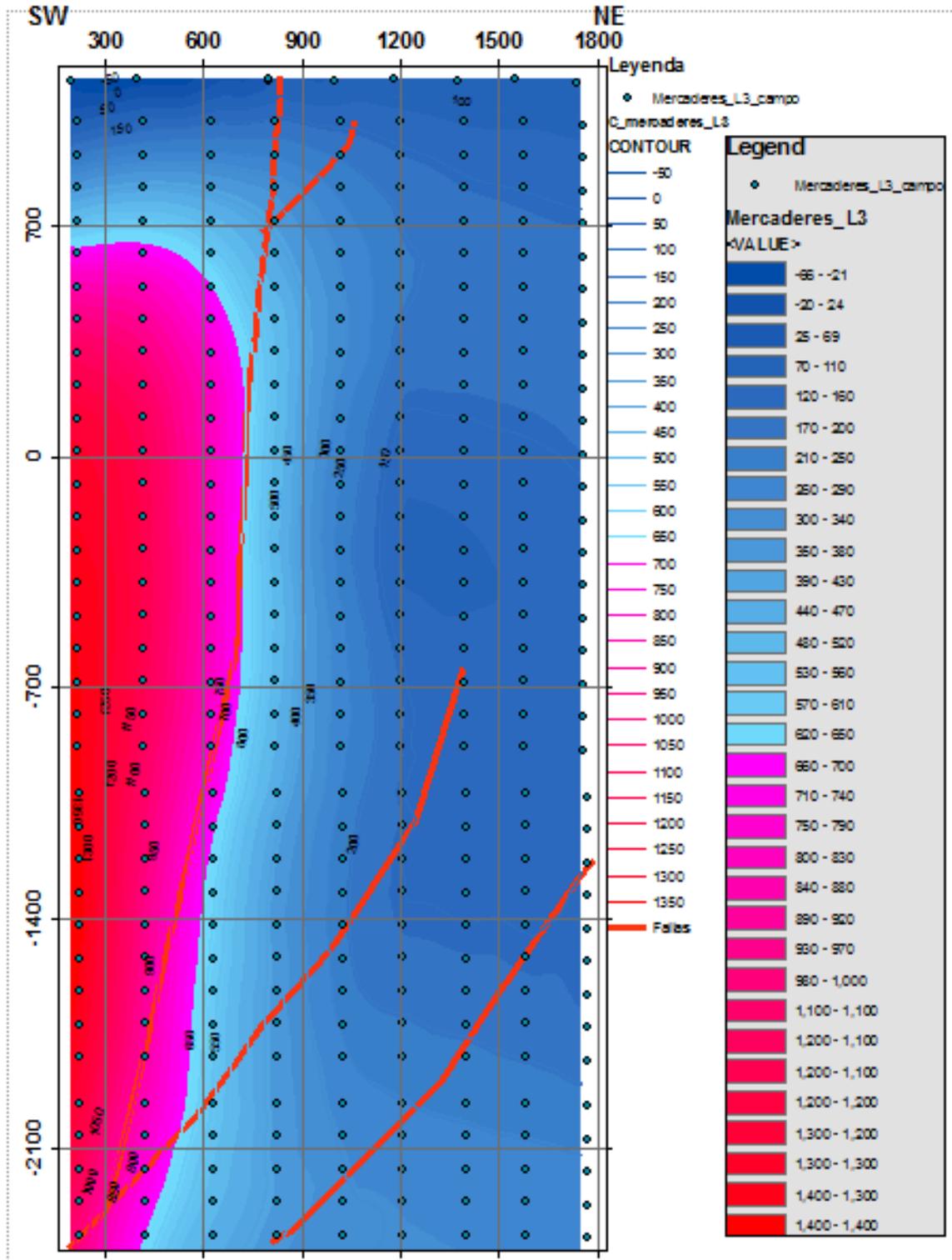


Fig. 29. Principales fallas identificadas en el área de la línea L-3

A partir de los cambios en las resistividades y anomalías observadas en el perfil, se identificaron 3 fallas, en las dos más profundas afectan únicamente los sedimentos del Cretácico, y una falla mayor que involucra todas las rocas del Cretácico y del Terciario (Fig. 29)

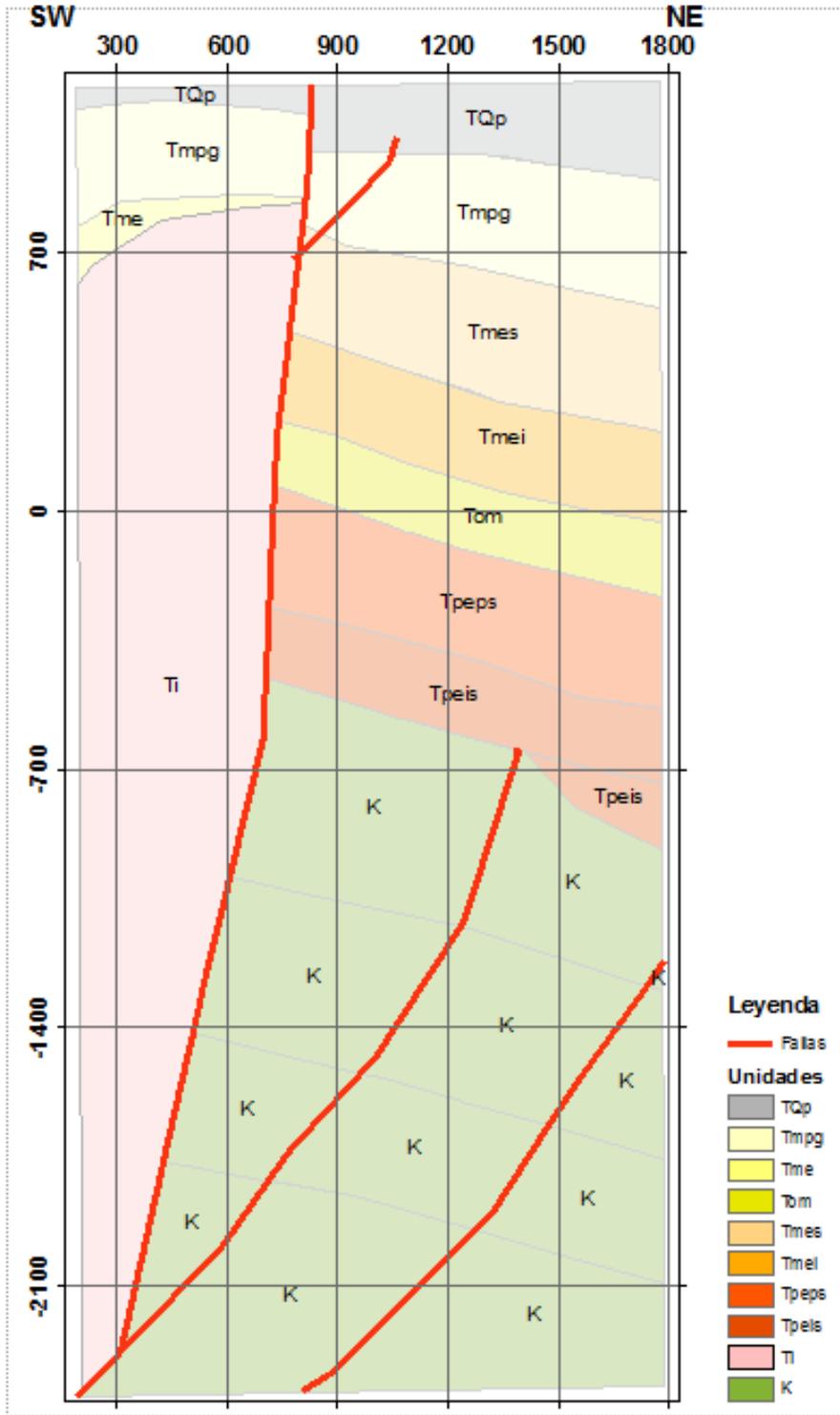


Fig. 30. Interpretación geológica final línea L-3

De acuerdo a las características observadas en el perfil procesado, la interpretación final de la línea L-3, muestra rocas con edades que van desde el Cretácico al reciente, las cuales se ven afectadas por unas fallas profundas que involucran las rocas del cretáceo y una falla mayor que se puede cartografiar en superficie y que involucra todas las unidades desde el cretáceo.

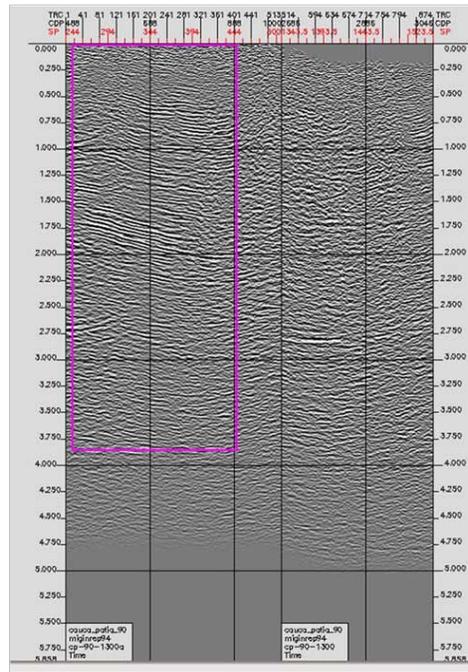
Para este perfil se identificaron las unidades y espesores que se muestran en la tabla N°4

| INTERVALO DE RESIST. (Ohm/m) | ESPESOR (m) | UNIDAD ESTRATIGRAFICA | OBSERVACIONES | |
|-----------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------|-------------------|
| 60 – 100 | 50-250 | POPAYÁN | | TQp |
| | | GALEÓN | | Tmp g |
| 75 – 100 | 250 | ESMITA | | Tme s |
| 110 – 145 | 350 | | | Tme i |
| 145 – 170 | 170 | MOSQUERA | | Tom |
| 100-116 | 250-300 | PEÑAMORADA | | Tpe ps |
| 290-330 | 200-350 | | | Tpe pi |
| 275 - 315 | >1000 | GRUPO DIABÁSICO (CHAPUNGO) | | K |

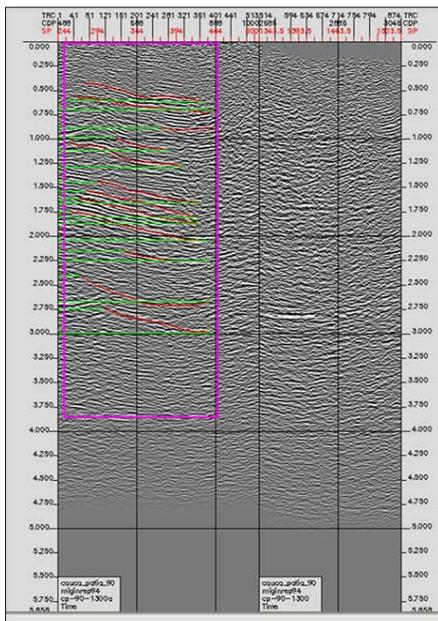
Tabla N°4. Intervalo de resistividades y espesores de las unidades estratigráficas de L-3.

Adicionalmente y con el fin de obtener una mejor interpretación se correlacionó el perfil magnetotelúrico con las líneas sísmicas CP 09 y CP 10. (Fig. 31 y 32)

LINEA CP 09



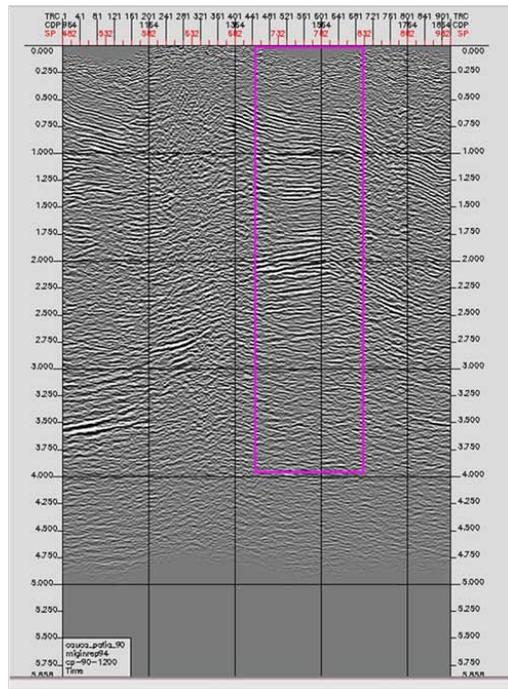
LINEA CP 09



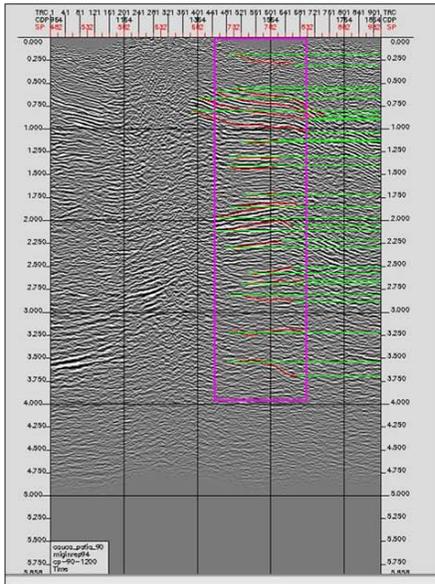
| Linea | Tiempo Inicial (s) | Tiempo Final (s) | Intervalo de Tiempo (s) | Litología | Procentajes | Velocidad | Espesor |
|-------|--------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-----------|---------|
| 1 | 0 | 0.42 | 0.21 | Intra: Lutitas - Arenas | 30 - 70 | 2200 | 462 |
| 2 | 0.42 | 0.54 | 0.06 | Arenas | 100 | 2200 | 132 |
| 3 | 0.54 | 0.87 | 0.165 | Arenas | 100 | 2300 | 379.5 |
| 4 | 0.87 | 0.97 | 0.05 | Intra: Lutitas - Arenas | 40 - 60 | 2600 | 130 |
| 5 | 0.97 | 1.03 | 0.03 | Arenas | 60 - 40 | 3200 | 96 |
| 6 | 1.03 | 1.39 | 0.18 | Intra: Lutitas - Arenas | 70 - 30 | 3500 | 630 |
| 7 | 1.39 | 1.53 | 0.07 | Arenas | 30 - 70 | 2600 | 182 |
| 8 | 1.53 | 1.63 | 0.05 | Intra: Lutitas - Arenas | 20 - 80 | 2700 | 135 |
| 9 | 1.63 | 1.75 | 0.06 | Arenas | 100 | 2900 | 174 |
| 10 | 1.75 | 2.16 | 0.205 | Intra: Lutitas - Arenas | 30 - 70 | 3000 | 615 |
| 11 | 2.16 | 2.4 | 0.12 | Intra: Lutitas - Arenas | 40 - 60 | 3100 | 372 |
| 12 | 2.4 | 2.75 | 0.175 | Intra: Lutitas - Arenas | 20 - 80 | 3200 | 560 |
| 13 | 2.75 | 3 | 0.125 | Intra: Lutitas - Arenas | 30 - 70 | 3300 | 412.5 |

Fig. 31. Línea sísmica CP – 09 interpretada

LINEA CP 10



LINEA CP 10



| Línea | Tiempo inicial (s) | Tiempo Final (s) | Intervalo de Tiempo (s) | Litología | Promedio Velocidad | Espe-sor |
|-------|--------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|----------|
| 1 | 0 | 0.17 | 0.085 | Arenas | 100 | 2000 |
| 2 | 0.17 | 0.54 | 0.185 | Intra: Lutitas - Arenas | 65 - 35 | 3100 |
| 3 | 0.54 | 0.58 | 0.02 | Arenas | 100 | 2200 |
| 4 | 0.58 | 0.64 | 0.03 | Intra: Lutitas - Arenas | 10 - 90 | 2300 |
| 5 | 0.64 | 0.79 | 0.075 | Arenas | 100 | 2300 |
| 6 | 0.79 | 1.13 | 0.17 | Intra: Lutitas - Arenas | 20 - 80 | 2400 |
| 7 | 1.13 | 1.3 | 0.085 | Intra: Lutitas - Arenas | 30 - 70 | 2500 |
| 8 | 1.3 | 1.39 | 0.045 | Intra: Lutitas - Arenas | 10 - 90 | 2500 |
| 9 | 1.39 | 1.71 | 0.16 | Intra: Lutitas - Arenas | 60 - 40 | 3300 |
| 10 | 1.71 | 1.83 | 0.06 | Intra: Lutitas - Arenas | 20 - 80 | 2600 |
| 11 | 1.83 | 1.96 | 0.065 | Intra: Lutitas - Arenas | 10 - 90 | 2700 |
| 12 | 1.96 | 2.09 | 0.065 | Arenas | 100 | 2600 |
| 13 | 2.09 | 2.29 | 0.1 | Intra: Lutitas - Arenas | 20 - 80 | 2700 |
| 14 | 2.29 | 2.56 | 0.135 | Intra: Lutitas - Arenas | 60 - 40 | 2800 |
| 15 | 2.56 | 2.67 | 0.055 | Intra: Lutitas - Arenas | 70 - 30 | 2800 |
| 16 | 2.67 | 2.8 | 0.065 | Intra: Lutitas - Arenas | 80 - 20 | 3700 |
| 17 | 2.8 | 3.21 | 0.205 | Intra: Lutitas - Arenas | 60 - 40 | 3600 |
| 18 | 3.21 | 3.59 | 0.19 | Intra: Lutitas - Arenas | 70 - 30 | 3800 |
| 19 | 3.59 | 4 | 0.205 | Intra: Lutitas - Arenas | 80 - 20 | 3900 |

Fig. 32. Línea sísmica CP – 10 interpretada

CONCLUSIONES

La correspondencia con la geometría vista en la sísmica se ve afectada por pequeñas discontinuidades en fluidos, pero en esencia se aprecia una alta correspondencia.

La poca variación en composición entre las unidades complica un poco la división entre ellas.

Los contactos discordantes generados sobre superficies erosivas son buenos marcadores que se aprecian por los cambios en resistividad y geometría.

PROGRAMA DE INDUCCIÓN Y ENTRENAMIENTO EN SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE

INTRODUCCIÓN

Para ARIANA LTDA GEÓLOGOS CONSULTORES, la formación y capacitación integral de su personal es un aspecto fundamental que garantiza no sólo que su gestión se dé en un ambiente seguro y de respeto por el entorno, sino que es un mecanismo que permite afianzar el sentido de pertenencia de sus colaboradores hacia la empresa y por esta vía a consolidar el sentimiento de compromiso con su razón de ser.

Por lo anterior se ha diseñado este Programa de Inducción, que aborda temas identificados como prioritarios, acordes con las necesidades de la empresa.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Educar y sensibilizar a los colaboradores en lo relacionado con la Salud Ocupacional y el Medio Ambiente, de manera que adopten un comportamiento seguro y de respeto hacia el medio ambiente, tanto en el área de trabajo como de residencia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dar a conocer a los colaboradores los aspectos más importantes sobre la empresa.

Difundir y velar por la aplicación de los Programas y Políticas en Salud Ocupacional y Medio Ambiente.

Dar cumplimiento a la legislación vigente en materia de capacitación y divulgación del Programa de Salud Ocupacional y Medio Ambiente.

Dar a conocer a los trabajadores especificidades relevantes de Salud Ocupacional y Medio Ambiente, de la empresa contratante y del proyecto.

IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE CAPACITACIÓN

De acuerdo a los requerimientos legales y a las especificidades del trabajo desarrollado por ARIANA LTDA, se identificaron y estructuraron como temas prioritarios de capacitación los siguientes:

INDUCCIÓN GENERAL

| PROGRAMA | TIEMPO (min) | TEMA | CONTENIDOS BÁSICOS |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Inducción ARIANA | 90 | Inducción dictada por el personal de de Ariana | |
| Inducción Empresarial | 20 | Generalidades sobre ARIANA LTDA | Razón de ser. Misión . Visión Objetivos Corporativos |
| Salud | 35 | Política Programa de salud | 1. Difusión política SO |

| | | | |
|--------------------|--|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Ocupacional</p> | | <p>ocupacional</p> | <p>2. Legislación en Salud</p> <p>ocupacional</p> <p>Contenido Programa de SO de</p> <p>ARIANA LTDA</p> <p>* Panorama de Riesgos</p> <p>(ergonómico, físico, Biológico, orden público, naturales)</p> <p>* Accidente de Trabajo y enfermedad Profesional</p> <p>(incluye cartilla)</p> <p>* Comité Paritario</p> <p>* Brigadas de Emergencia</p> <p>* Plan de Emergencia</p> <p>* Normas de Seguridad Industrial (incluye cartilla)</p> <p>* Primeros Auxilios</p> <p>*Cronograma de actividades</p> <p>3. Obligaciones trabajadores frente empresa</p> |
|--------------------|--|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| | | | |
|-------------------|----|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | contratante en Materia de Salud Ocupacional |
| Medio Ambiente | 35 | Programa de Medio Ambiente | <p>1. Difusión política</p> <p>2. Legislación en Medio Ambiente</p> <p>3. Contenido Programa de Medio Ambiente de ARIANA LTDA</p> <p>4. Organización responsabilidades</p> <p>5. Marco teórico del Programa de Medio Ambiente</p> <p>6. Plan de Manejo Ambiental</p> <p>PROGRAMA DE INDUCCIÓN Y ENTRENAMIENTO del proyecto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterización ambiental área • Principales impactos Medidas de Manejo. <p>7. Obligaciones trabajadores</p> |

| | | | |
|--|--|--|-------------------------------------------------------------------|
| | | | frente empresa contratante en Materia de Medio Ambiente. |
|--|--|--|-------------------------------------------------------------------|

CAPACITACIONES ESPECÍFICAS

| FECHA | TEMA | DESCRIPCION |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Domingo 05-04-09 | Inducción ARIANA | Inducción dictada por el personal de de Ariana |
| Domingo 05-04-09 | Cuidado de EPP | Elementos de protección personal, su estado actual y como deben permanecer. |
| Domingo 05-04-09 | Plan de Emergencia | Como reaccionar en una emergencia según el plan de Ariana |
| Domingo 05-04-09 | Normas de Seguridad Industrial | Normas de seguridad industrial Ariana y aplicación en el trabajo de campo. |
| Domingo 05-04-09 | Evaluación | Evaluación de los temas vistos hasta el momento, observar claridad en los temas y aplicación de ellos en la vida diaria. |

METODOLOGÍA

Las capacitaciones se harán mediante seminarios taller, en los cuales se motivará la participación activa de los asistentes y el análisis de las temáticas con ejemplos cotidianos, buscando una mayor asimilación, comprensión y puesta en práctica de los mismos.

RECURSOS

Las capacitaciones serán realizadas por el personal de ARIANA LTDA, asesores de la ARP y en los proyectos se buscará el apoyo de personal de la empresa contratante para la presentación de los programas y temas que deben ser de estricto cumplimiento por parte de ARIANA LTDA y sus colaboradores.

ARIANA LTDA hará las presentaciones con video beam, alquilado en la zona. De cada curso de entregará copia impresa de la temática abordada en la presentación y en algunos temas (especificados en los cuadros anteriores) se entregarán cartillas o folletos.

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Par el personal de planta de ARIANA LTDA, la capacitación general y específica se realizará una vez al año. El personal temporal recibirá la inducción general al momento de su vinculación a la empresa, cuya intensidad esta estimada en 4 horas. La inducción específica del personal temporal se realizará después de su vinculación, según programación.

RESPONSABLES

El adecuado y oportuno cumplimiento de este Programa es responsabilidad del Gerente General de ARIANAN LTDA.

COSTOS

Este programa no implica costos de personal, ya que será ejecutado por personal de ARIANA LTDA, de la empresa contratante y de la ARP- SURATEP.

Los costos de inducción se derivan de la reproducción de material de las presentaciones, cartillas, folletos, alquiler equipos y refrigerios a los asistentes. Estas actividades se presentarán según necesidad.

Debido a que la población de trabajadores de ARIANA LTDA depende del proyecto y las necesidades de contratación que se deriven del mismo, se estima un costo global de \$800.000 anuales, con un 10% para imprevistos. En total los costos estimados para la ejecución de este programa son de \$880.000 anuales.

ESQUEMA PLAN DE DESPLAZAMIENTOS EN CAMPO

| Descripción | Tiempo Aprox (min.) | Actividad | | | | | Observaciones |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------|---|---|---|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | ● | ■ | ■ | ■ | ▼ | |
| Reunión – punto de encuentro – inicio de operaciones | 15 | | | * | | | |
| Capacitación - HSE | 20 | | | | * | | El primer día tiene una duración de 1 hora y media |
| Revisión EPP | 5 | | | | * | | Realizada Por Coord. Campo |
| Firma de Registro | 10 | * | | | | | Cada persona que sale a las zonas |
| Transporte Zona | 30 | | * | | | | Vehículos |
| Reconocimiento del área | 15 | | | | * | | |
| Equipo de transmisión tendido del cableado. | 30 | * | | | | | Trabajo de 200 m con 2 electrodos por punto. Total de 20 puntos. Queda en la mitad de la línea al frente del punto distanciado 200 m. |
| Equipo de transmisión – recolección de datos | 60 | | | * | | | |
| Equipo de transmisión recoger el cableado | 30 | * | | | | | |
| 1 equipo de recepción lleva 2 antenas para las diferentes componentes | 60 | * | | * | | | Va variando se mueve todo el tiempo. Distanciado 200m y rastreen durante los 60 min las frecuencias estipuladas para el registro. Por punto. Total 20 puntos. |
| Almuerzo | 60 | | | * | | | Suministrado en el punto de trabajo |
| Transporte Base Ariana | 30 | | * | | | | Vehículos |
| Retroalimentación Coordinador | 10 | * | | | | | Se hablara también de las reuniones semanales de HSE |

| Convenciones | | |
|----------------|---|---|
| Descripción | | S |
| Operación | ● | |
| Transporte | ■ | |
| Espera | ■ | |
| Inspección | ■ | |
| Almacenamiento | ▼ | |

PLAN DE ACTIVIDADES HSE – 2009

METODOLOGÍA

En las mañanas el coordinador de campo realizará una inspección visual de los EPP de cada uno de los trabajadores y coordinara su salida segura a campo.

Se realizaran charlas motivacionales hacia la seguridad en el trabajo al finalizar la jornada, las cuales serán coordinadas y estarán bajo la responsabilidad del Coordinador de HSE en campo, deberá quedar firmado el registro de capacitación, tendrán una duración de 15 a 20 minutos y se hará una corta discusión del tema al finalizar la charla.

CRONOGRAMA FASE I

| FECHA | TEMA | DESCRIPCION |
|------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Domingo 05-04-09 | Inducción ARIANA | Inducción dictada por el personal de de Ariana |
| Domingo 05-04-09 | Cuidado de EPP | Elementos de protección personal, su estado actual y como deben permanecer. |
| Domingo 05-04-09 | Plan de Emergencia | Como reaccionar en una emergencia según el plan de Ariana |
| Domingo 05-04-09 | Normas de Seguridad | Normas de seguridad industrial Ariana |

| | | |
|------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Industrial | y aplicación en el trabajo de campo. |
| Domingo 05-04-09 | Evaluación | Evaluación de los temas vistos hasta el momento, observar claridad en los temas y aplicación de ellos en la vida diaria. |

De cada una de los temas se tienen los documentos para apoyar la charla, estos quedaran anexados a los registros de capacitación.

AUDITORIAS DE SEGUIMIENTO EN HSE

IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS Y CIERRE DE ESTAS

- Fecha de inicio de la auditoría: Lunes 06-04-09
- Lugar o proceso auditado: Utilización de los Elementos de Protección Personal.
- Responsable del proceso: Coordinador de Campo en HSE.
- Temas auditados: utilización de botas de seguridad, casco, bloqueador solar, overol y demás elementos de protección personal, en el área de campo.
- Duración de la auditoría: 35 minutos.
- Resultados de la auditoría: Todos utilizaban adecuadamente los Elementos de Protección Personal, sin embargo se por las condiciones climáticas se recomendó utilizar con mayor frecuencia el bloqueador solar.
- Acción correctiva a tomar: por las condiciones climáticas se recomendó utilizar con mayor frecuencia el bloqueador solar.
- Lugar de aplicación de la acción correctiva: Área de Campo.
- Responsable de tomar la medida correctiva: Coordinador de Campo en HSE.
- Plazo estimado para implementar la medida correctiva: De Inmediato.
- Acciones preventivas a tomar: revisar todos los días al inicio de trabajo de campo que el personal utilice los Elementos de Protección Personal.
- Lugar de aplicación de la acción preventiva: Sitio de salida para iniciar el trabajo de campo y Área de Campo.
- Responsable de tomar la medida preventiva: Coordinador de Campo en HSE.
- Plazo estimado para implementar la medida preventiva: De inmediato.
- Observaciones:
- Firma del auditor
- Fecha del informe: Martes 07-04-09

Con la anterior información, la gerencia poseerá herramientas para sostener y mejorar el sistema HSE.

AUDITORIAS DE SEGUIMIENTO EN HSE**IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS Y CIERRE DE ESTAS**

Una vez realizadas las auditorías, los encargados de estas deben presentar un informe a la gerencia, a más tardar un día hábil siguiente a la terminación de las mismas, en donde se indiquen los siguientes datos:

- Fecha de inicio de la auditoría: Lunes-06-09
- Lugar o proceso auditado: seguridad industrial aplicación en el trabajo de campo.
- Responsable del proceso: Coordinador de Campo en HSE.
- Temas auditados: Ergonómico – Levantamiento de cargas, manejo de machete.
- Duración de la auditoría: 35 minutos.
- Resultados de la auditoría: Todo el personal respondió de forma acertada en cuanto a la aplicación de los temas de seguridad industrial e higiene postural, los cuales habían sido profundizado en capacitaciones específicas en días anteriores.
- Acción correctiva a tomar: Recordar el auto cuidado para que se haga más segura la operación de campo, no extralimitarse en el levantamiento y transporte de carga.
- Lugar de aplicación de la acción correctiva: Área de Campo.
- Responsable de tomar la medida correctiva: Coordinador de Campo en HSE.
- Plazo estimado para implementar la medida correctiva: De Inmediato.
- Acciones preventivas a tomar: Recordar el auto cuidado para que se haga más segura la operación de campo, no extralimitarse en el levantamiento y transporte de carga.
- Lugar de aplicación de la acción preventiva: Área de Campo.
- Responsable de tomar la medida preventiva: Coordinador de Campo en HSE.
- Plazo estimado para implementar la medida preventiva: De inmediato.
- Observaciones:
- Firma del auditor
- Fecha del informe: Martes 07-04-09

Con la anterior información, la gerencia poseerá herramientas para sostener y mejorar el sistema HSE.

AUDITORIAS DE SEGUIMIENTO EN HSE

IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS Y CIERRE DE ESTAS

Una vez realizadas las auditorías, los encargados de estas deben presentar un informe a la gerencia, a más tardar un día hábil siguiente a la terminación de las mismas, en donde se indiquen los siguientes datos:

- Fecha de inicio de la auditoría: Lunes 06-04-09
- Lugar o proceso auditado: El programa de Salud Ocupacional.
- Responsable del proceso: Coordinador de Campo en HSE.
- Temas auditados: Medicina Preventiva y del Trabajo, Higiene Industrial.
- Duración de la auditoría: 35 minutos.
- Resultados de la auditoría: se revisaron los factores de riesgo que se encontraban en la zona, donde se encontró que se estaban minimizando, haciendo el trabajo más efectivo ya que hasta el momento no se ha presentado ningún accidente de trabajo.
- Acción correctiva a tomar: revisar a diario los factores que colocan en riesgo la operación y minimizarlos.
- Lugar de aplicación de la acción correctiva: Área de Campo.
- Responsable de tomar la medida correctiva: Coordinador de Campo en HSE.
- Plazo estimado para implementar la medida correctiva: De Inmediato.
- Acciones preventivas a tomar: revisar a diario los factores que colocan en riesgo la operación y minimizarlos.
- Lugar de aplicación de la acción preventiva: Área de Campo.
- Responsable de tomar la medida preventiva: Coordinador de Campo en HSE.
- Plazo estimado para implementar la medida preventiva: De inmediato.
- Observaciones:
- Firma del auditor
- Fecha del informe: Martes 07-04-09

Con la anterior información, la gerencia poseerá herramientas para sostener y mejorar el sistema HSE.

