

# **INFORME FINAL**

## **PROYECTO MAGNETOTELÚRICA OPOGODÓ, CHOCÓ**

**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**

INFORME FINAL OPERACIONES DE CAMPO PROYECTO MAGNETOTELÚRICA OPOGODÓ(CHOCÓ).....	6
METODOLOGÍA.....	6
ADQUISICIÓN DE DATOS.....	6
ESTACIONES DE CAMPO.....	11
ACTIVIDADES DE CAMPO .....	14
INFORME FINAL PROCESAMIENTO MAGNETOTELÚRICO OPOGODÓ, CHOCÓ .....	19
DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO .....	19
MAGNETOTELÚRICA (MT).....	19
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	19
PARÁMETROS.....	20
PROFUNDIDAD DE INVESTIGACIÓN .....	21
MT – FUENTES DE CAMPO.....	21
CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD Y LA FASE.....	21
CARACTERÍSTICAS DE INVESTIGACIONES – MT.....	22
MT - ADQUISICIÓN.....	22
MT – ESTÁTICAS .....	22
MT - PROCESO.....	23
MODELO ROUGHNESS – MT .....	23
PROCESAMIENTO DE DATOS.....	26
Sistema Zonge.....	26
Inversión 2D de Datos MT.....	27
INFORME FINAL DE INTERPRETACIÓN MAGNETOTELÚRICA OPOGODÓ, CHOCÓ.....	28
INTRODUCCIÓN .....	28
METODOLOGÍA.....	28

MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO

LOCALIZACIÓN .....	28
CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS .....	30
HIDROGRAFÍA .....	30
CLIMATOLOGÍA .....	30
CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE TRABAJO .....	30
ESTRATIGRAFÍA .....	32
GRUPO DIABÁSICO .....	32
Formación IRÓ .....	33
grupo san juan .....	33
Formación mayorquin.....	34
Formación raposo .....	34
Depósitos Cuaternarios .....	35
INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL .....	37
ESTILO ESTRUCTURAL DE FALLAS TRANSCURRENTES.....	37
INTERPRETACION GEOLÓGICA DE PERFILES MAGNETOTELURICOS.....	40
INTERPRETACIÓN 1º .....	40
INTERPRETACIÓN 2º .....	45
CONCLUSIONES .....	49
INFORME FINAL DE SEGURIDAD INDUSTRIAL, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE .....	50
INTRODUCCIÓN .....	50
OBJETIVOS .....	50
OBJETIVO GENERAL .....	50
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	50
CAPACITACIONES .....	50
PROGRAMA DE INDUCCIÓN Y ENTRENAMIENTO EN SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE .....	53
INTRODUCCIÓN.....	53

MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO

OBJETIVOS.....	53
IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES DE CAPACITACIÓN.....	54
METODOLOGÍA.....	57
CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN.....	57
RESPONSABLES.....	58
COSTOS.....	58
ESQUEMA PLAN DE DESPLAZAMIENTOS EN CAMPO PROYECTO MAGNETOTELURICA OPOGODÓ, CHOCO2009..	59
PLAN DE ACTIVIDADES HSE – 2009 PROYECTO MAGNETOTELURICA OPOGODÓ, CHOCO.....	60
Metodología.....	60
AUDITORIAS DE SEGUIMIENTO EN HSE IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS Y CIERRE DE ESTAS.....	61
AUDITORIAS DE SEGUIMIENTO EN HSE IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS Y CIERRE DE ESTAS.....	62
AUDITORIAS DE SEGUIMIENTO EN HSE IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS Y CIERRE DE ESTAS.....	63



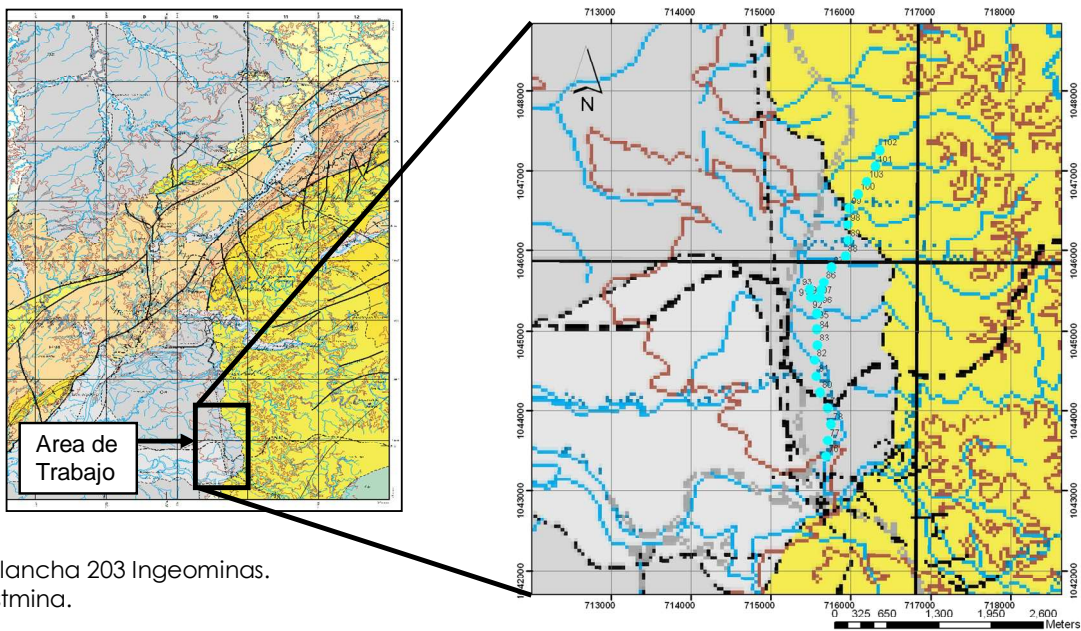
**FIGURAS**

Fig 1.	Localización área de trabajo .....	6
Fig 2.	Estaciones de campo. ....	12
Fig 3.	Montaje MT. Disposición de electrodos cada 200 m. ....	13
Fig 4.	Receptor GDP – 32.....	14
Fig 5.	Entrevista con líderes religiosos. ....	14
Fig 6.	Equipo de trabajo.....	15
Fig 7.	Tendido de cable sobre la vía Opogodó – San Lorenzo. ....	16
Fig 8.	Tendido de cable.....	17
Fig 9.	Ubicación de equipo receptor.....	17
Fig 10.	Registros eléctricos visualizados en MTEdit v2.00.....	18
Fig 11.	Valores aproximados de resistividad para las diferentes litologías.....	20
Fig 12.	Deflexión del campo magnético de la tierra por el viento solar. ....	21
Fig 13.	Diseño general para la adquisición de información magnetotelúrica .....	22
Fig 14.	Modelo Roughness .....	24
Fig 15.	Modelo Roughness perfil .....	26
Fig 16.	Mapa de localización.....	28
Fig 18.	Parte inicial de la línea.....	31
Fig 19.	Sector intermedio .....	31
Fig 20.	Localización del pozo .....	32
Fig 21.	Sector final del perfil .....	32
Fig 22.	Cruce sobre el Río.....	32
Fig 23.	Detalles de afloramientos.....	35
Fig 24.	Columna estratigráfica generalizada con intervalos de resistividades medidas y estimadas para el área de trabajo.....	36
Fig 25.	Mapa geológico generalizado -Choco .....	37
Fig 26.	Cartografía geológica existente.....	38
Fig 27.	Localización perfil de magnetotelúrica.....	38
Fig 28.	Control Cartográfico .....	39
Fig 29.	Contornos de Isoresistividad datos procesados .....	40
Fig 30.	Fallas .....	41
Fig 31.	Unidades, Fallas Isorresistividades .....	43
Fig 32.	Unidades y fallas.....	44
Fig 34.	Fallas .....	45
Fig 35.	Isoresistividad, fallas y unidades.....	47
Fig 36.	Isoresistividad, fallas y unidades.....	48
Fig 37.	Perfil interpretado .....	

**INFORME FINAL OPERACIONES DE CAMPO PROYECTO MAGNETOTELÚRICA OPOGODÓ(CHOCÓ)**

**METODOLOGÍA**

**ADQUISICIÓN DE DATOS**



Plancha 203 Ingeominas.  
Istmina.

● Estaciones de campo

*Fig 1. Localización área de trabajo*

La adquisición de datos en campo se efectuó en Marzo – Abril de 2009. Se realizó MT sobre un perfil dentro de la jurisdicción de los corregimientos de Orogodó (Municipio de Condoto) y San Lorenzo (Municipio de Nóvita), Chocó (Fig. 1).

La línea de toma de datos de magnetotelúrica tiene una longitud aproximada de 4.142,927 m.

**EQUIPO UTILIZADO**

Equipo Modelo GDP-32 de ZONGE.

**SISTEMA GDP- 32 II ZONGE**

*MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO*

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 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 más relevantes:

- Rango de Frecuencias: 0.015625 a 8KHz, 0.0007Hz a 8KHz para MT.
- Número de canales: 8
- Software : C++ y ensamblaje
- Rango de Temperatura: -40° a +45°C (-40° a +115°F)
- Rango de Humedad: 5% a 100%
- Con sensores internos de temperatura y humedad.
- Base de tiempo: Oscilador de cristal; rata de envejecimiento  $<5 \times 10^{-10}$  por 24 horas.
- Impedancia de entrada: 10 Mohm a DC
- Rango Dinámico: 190 db.
- Señal Mínima detectable: 0.03  $\mu$ V
- Señal Máxima de voltaje: +/- 32V
- Ajuste de compensación SP: +/- 2.25 V en pasos de 69  $\mu$ V (automático)
- Ganancia automática: rango 1/8 a 65,536
- Precisión de Fase : +/- 0.1 miliradianes (0.006 grados)
- Filtros: de cuatro polos (controlados por software), especificado por el usuario ( 50/150/250/ 450, 50/150/60/180 Hz, 60/180/300/540 Hz)
- Convertidor Análogo a Digital. Resolución: 16 bits +/- 1/2 LSB
  - Conversión: 17  $\mu$ sec
  - Auto calibración Continua
  - Un A/D por canal.

**Software de adquisición:**

MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO

*Extended Broadband Time Series Data Recording:* Desarrollado para grabar 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
- Puerto 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 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 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/VHz
- Filtros de paso alto (.001 y 0.01 y 0.1 a 1.0 Hz)
- Filtros Notch 50/60 Hz, 150/180 Hz

*MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO*

- Tres estados de ganancia 0-70 dB, 32 posiciones
- Series de Tiempo 0.0001 Hz a 512 Hz
- Muestro simultaneo 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 progarmables
- 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 de 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 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 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

*MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO*

- 1 microgamma (1 fT) por raíz cuadrada\_Hz nominal > 200 Hz

**ESTACIONES DE CAMPO**

La toma de datos se realizó en línea cada 200 m, para un total de 28 puntos distribuidos en aproximadamente 4.143 m. (Tabla No 1, Fig. 2).

<b>ESTACIÓN</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>
75	715966	1045093
76	716060	1043111
77	716077	1043305
78	716118	1043506
79	716081	1043709
80	715982	1043905
81	715938	1044104
82	715914	1044301
83	715949	1044497
84	715944	1044697
85	715942	1044897
86	716030	1045282
87	716125	1045466
88	716301	1045605
89	716335	1045806
90	715972	1045090
91	715871	1045097
92	715873	1045093
93	715856	1045193
94	715995	1045189
95	715980	1045090

MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO

ESTACIÓN	NORTE	ESTE
96	715981	1045091
97	715979	1045092
98	716330	1046006
99	716348	1046209
100	716455	1046389
101	716676	1046724
102	716733	1046934
103	716567	1046546

Tabla 1. Estaciones de campo.

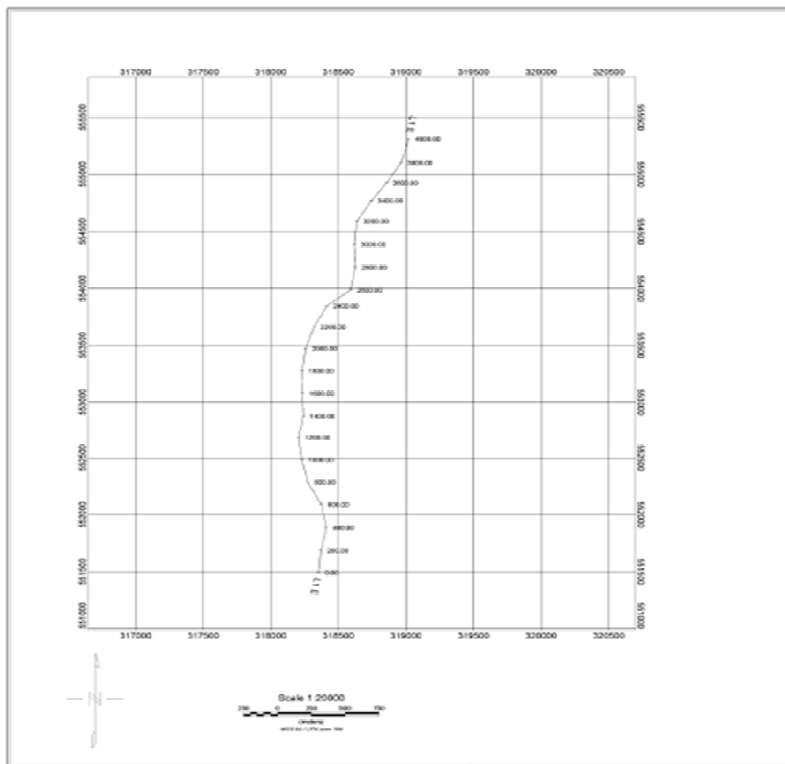


Fig 2. Estaciones de campo.



MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO

La adquisición de la información eléctrica y magnética se efectuó en direcciones y en nomenclatura EMAP (Fig. 3), cubriendo las frecuencias descritas en la tabla 2.

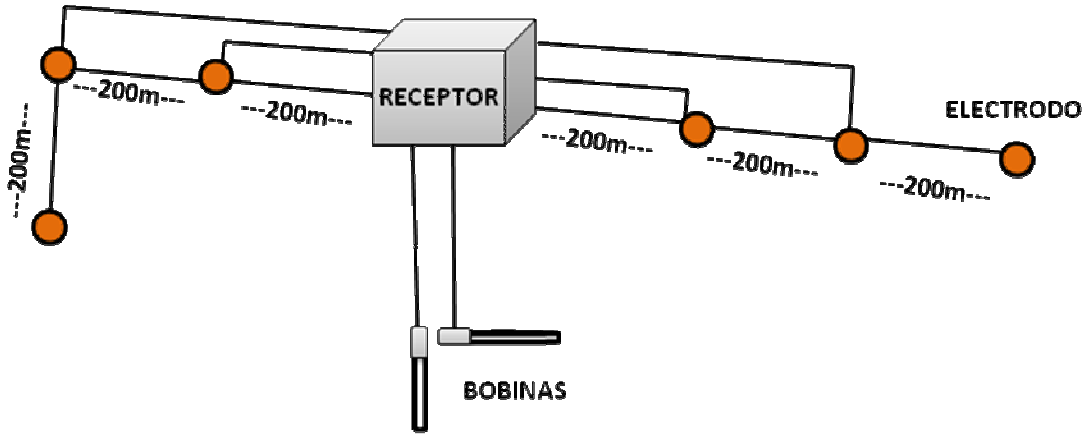


Fig 3. Montaje MT. Disposición de electrodos cada 200 m.

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

Tabla 2. Bandas de medición en equipo ZONGE



Fig 4. Receptor GDP – 32

## ACTIVIDADES DE CAMPO

### INTERACCIÓN CON AUTORIDADES Y COMUNIDADES LOCALES

Preliminarmente, se efectuaron reuniones con las autoridades y comunidades locales, con el fin de dar a conocer el tipo de trabajo que íbamos a realizar (Fig. 5).



Fig 5. Entrevista con líderes religiosos.

## 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 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 un equipo portátil, el cuál, es transportado por personal de campo en arneses preparados para tal fin, por senderos y caminos habilitados. (Fig. 6).



*Fig 6. Equipo de trabajo*

El Equipo de trabajo fue de 11 personas conformado de la siguiente manera:

- Un Geólogo
- Dos Operadores Geofísicos
- 8 Ayudantes

Como equipamiento de apoyo se contó con:

- 2 Camperos.

MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO

- Dos computadores portátiles, Impresora, Sistema de Respaldo.

## TENDIDO DEL CABLE

A lo largo de los perfiles, los ayudantes de campo se encargaron del tendido del cable (fig. 7) 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 7. Tendido de cable sobre la vía Opogodó – San Lorenzo.*

Durante toda la operación de campo se trabajó considerando todas las medidas de seguridad necesarias y preocupación por el medio ambiente. Para esto se impartió con anterioridad capacitaciones y charlas relacionadas que incentivaron y realizaron los aspectos pertinentes a la seguridad en campo y al respeto y cuidado del ambiente.

Aunque el área de estudio en su totalidad corresponde a selva húmeda tropical, las estaciones de trabajo fueron ubicadas sobre la vía que comunica al corregimiento de Opogodó y el corregimiento de San Lorenzo (Chocó) (Fig 8). Debido a la densidad de la vegetación, fue difícil establecer estaciones selva adentro, razón por la cual no se generó ningún tipo de impacto ambiental. La metodología desarrollada y el equipo utilizado no generaron intervención alguna con la composición ecológica del lugar.



MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO



Fig 8. *Tendido de cable.*

## TOMA DE DATOS

---

Se estableció una estación central, donde se ubico el equipo receptor y las bobinas (Fig 9). Desde este punto los operadores geofísicos realizaron el monitoreo de cada montaje (Fig. 10). Cada montaje requiere de 4 horas aproximadamente, de las cuales 2 aproximadamente corresponden a la toma de datos.



Fig 9. *Ubicación de equipo receptor*

## 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 realiza 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 planeo desde un principio, realizando capacitaciones y charlas relacionadas que incentivaron y realzaron los aspectos pertinentes a la seguridad en campo y al respeto y cuidado del ambiente.

## CONTROL DE CALIDAD

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. 10). Este procedimiento se realizó diariamente al final de cada jornada de trabajo para verificar la existencia y la calidad de los datos tomados.

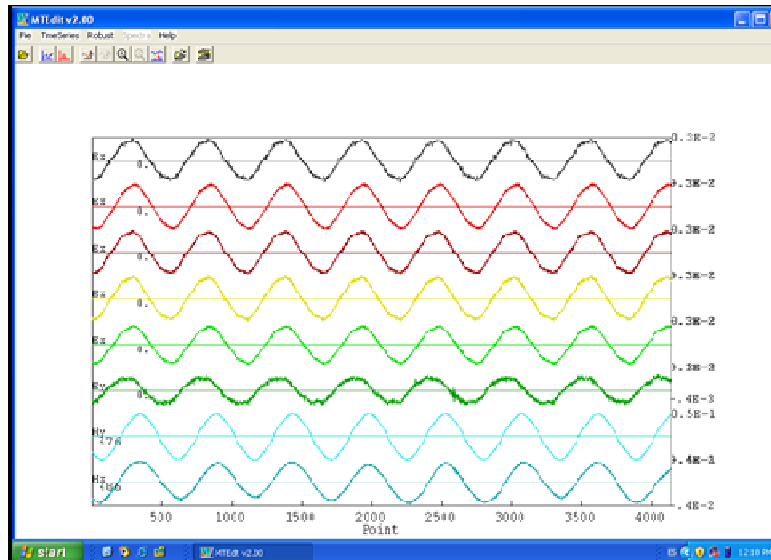


Fig 10. Registros eléctricos visualizados en MTEdit v2.00.

## INFORME FINAL PROCESAMIENTO MAGNETOTELÚRICO OPOGODÓ, CHOCÓ

### DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

El método AMT mediante perfilado electromagnético continuo mide la respuesta del subsuelo a la acción del campo electromagnético inducido por sistemas de corrientes en la magnetósfera (que resultan de la interacción del viento solar con el campo magnético terrestre) o por descargas eléctricas. Este campo electromagnético que se mide varía con la frecuencia y depende de la distribución de resistividad intrínseca del subsuelo.

La técnica de Perfilado Electromagnético Continuo consiste en la medición de los campos eléctricos y magnéticos a diferentes frecuencias en pares de estaciones ubicadas a lo largo de un perfil con el objeto de determinar los cambios de resistividad en las rocas a diferentes profundidades. La componente eléctrica se mide mediante pares de electrodos receptores (a lo largo del perfil en este caso) y la componente magnética mediante un sistema de bobinas ortogonales (paralelo y perpendicular al perfil).

Dependiendo de la profundidad de investigación que se requiera, es posible seleccionar el rango de frecuencias a usar. Normalmente en los estudios de AMT se usa un rango de frecuencia entre 0.01 Hz y 1500 Hz. para lo cual se requiere medir con dos antenas diferentes.

### 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.  $\nabla^2 \mathbf{E} + (\omega\mu\epsilon_2 - i\sigma\omega)\mathbf{E} = 0$

INFORME FINAL

MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO  
 $d^2E_x/dz^2 + k^2E_x = 0$

- Aproximación cuasiestática.  $\sigma \gg \epsilon\omega$
- Impedancia.  $Z = E_x/H_y = \mu\omega/k$
- 
- Fase.  $\rho_a = (1/\mu\omega) |E_x/H_y|^2$
- 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

$$[\log(\rho_1), \log(\rho_2), \dots, \log(\rho_{n_r+1}), \ln(d_{11}), \dots, \ln(d_{1n_c}), \dots, \ln(d_{nr1}), \dots, \ln(d_{nrn_c})],$$

$\rho_i$  : Resistividad eléctrica en la capa i.

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

VALORES DE LA RESISTIVIDAD

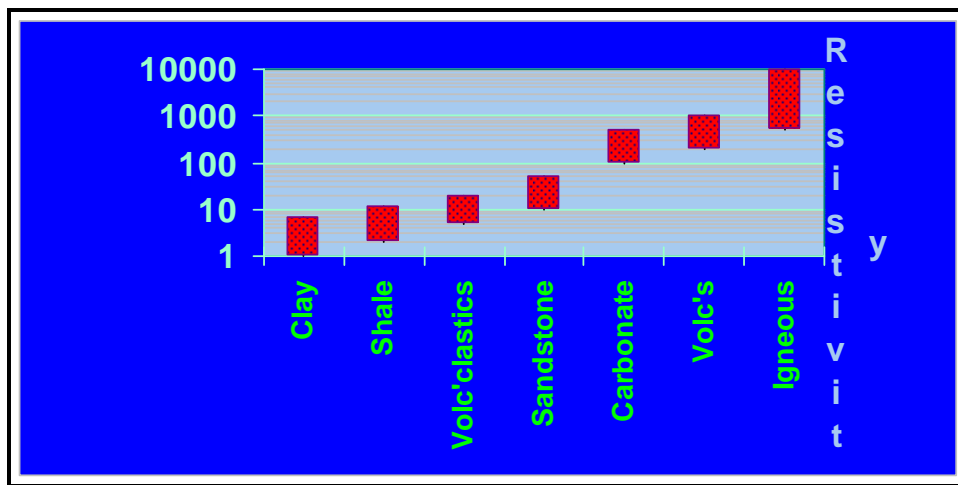


Fig 11. Valores aproximados de resistividad para las diferentes litologías



## 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 12. 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.

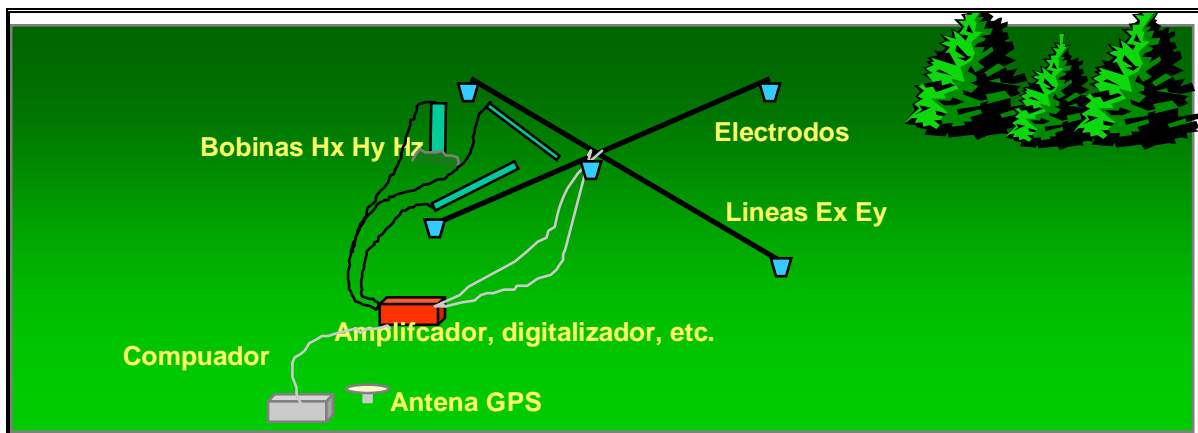


Fig 13. Diseño general para la adquisición de información magnetotelúrica

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”**

MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO

- 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

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

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

**m:** Parámetros del modelo.

MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO

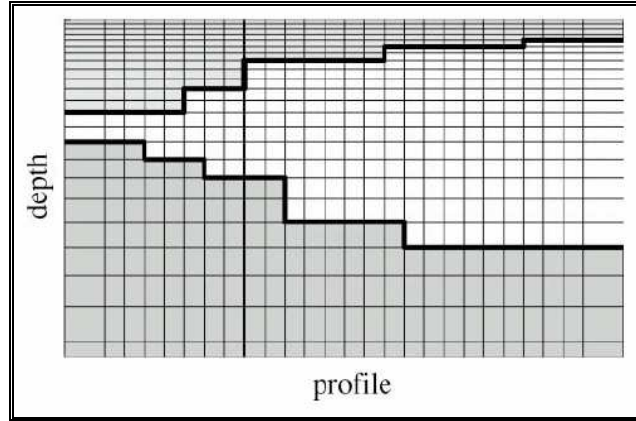


Fig 14. Modelo Roughness

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[m<sub>i</sub>]**: Solución al problema directo

**d** : Datos de campo.

**J<sub>i</sub>** : 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) y de Geodatos, 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. 15).

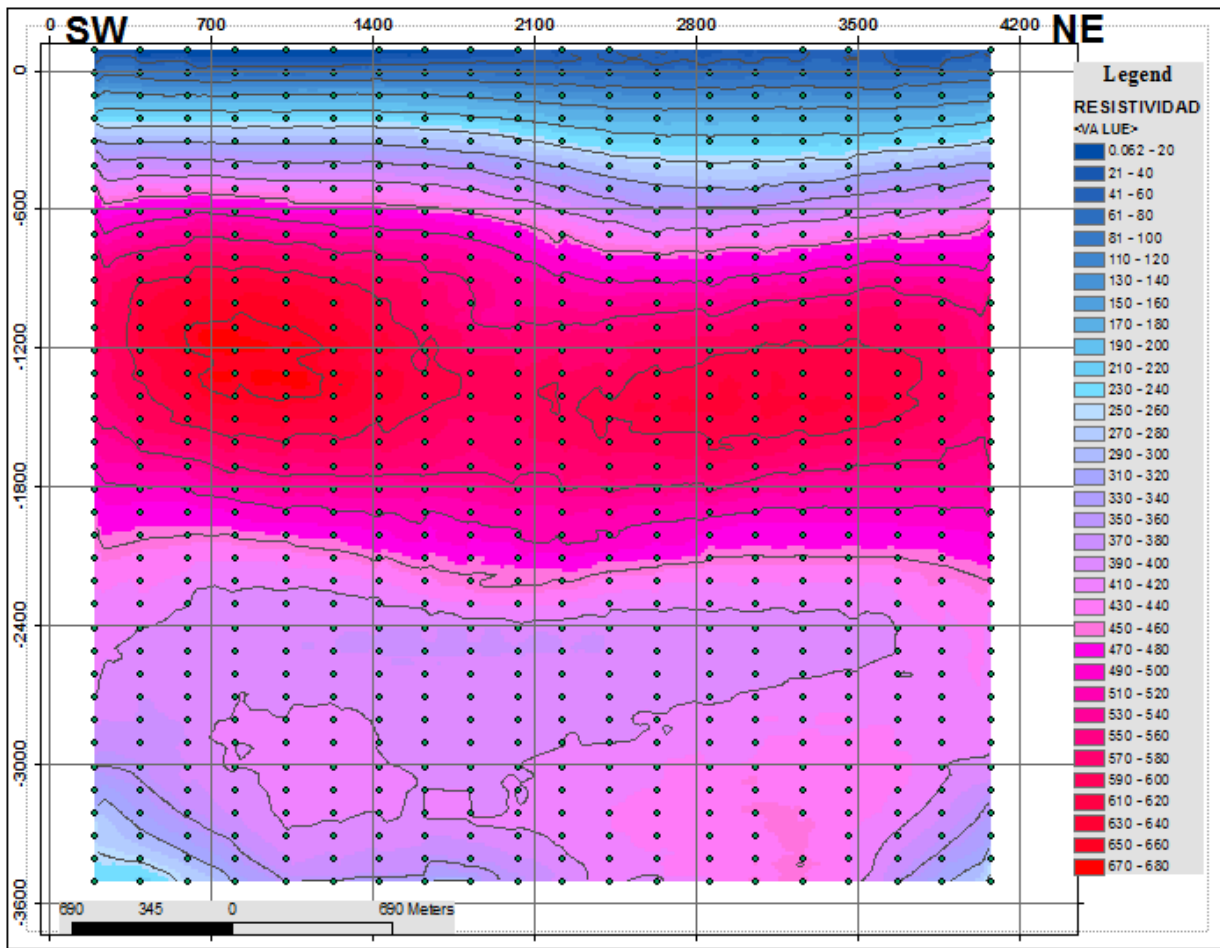


Fig 15. Modelo Roughness perfil

## 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.

MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO

**INFORME FINAL DE INTERPRETACIÓN MAGNETOTELÚRICA OPOGODÓ, CHOCÓ**

**INTRODUCCIÓN**

En el presente trabajo se presenta un modelo geológico obtenido a partir de la interpretación de datos de magnetotelúrica, tomados en una línea de cuatro (4) km en cercanías al Municipio de Opogodó (Chocó).

**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.

**LOCALIZACIÓN**

El perfil se Localiza a 84 Km al Sur de Quibdó en la vía Opogodó – San Lorenzo, Coordenadas gauss origen Bogotá Magna Sirgas 715.119 E y 1.046.186 N (Fig. 16 y 17).

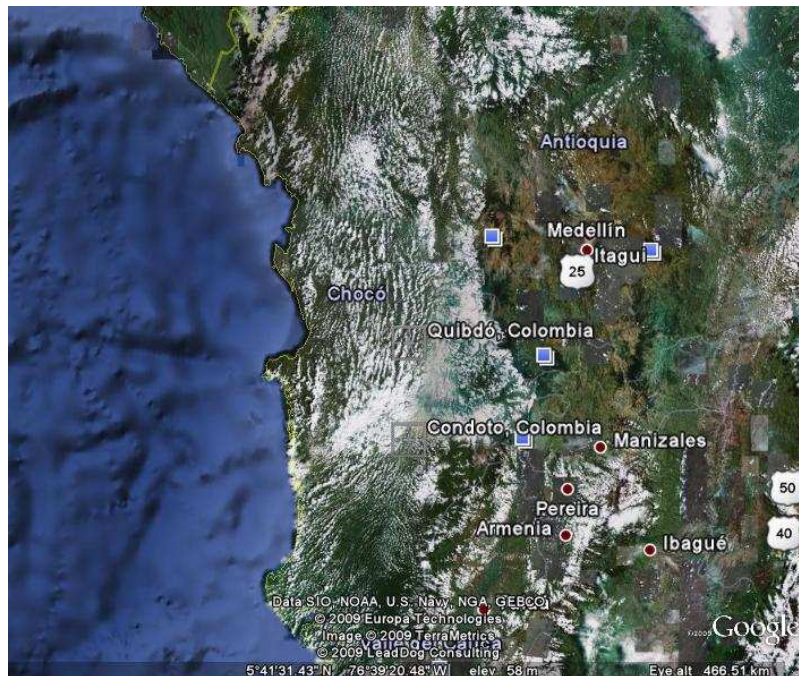


Fig 16. Mapa de localización



MAGNETOTELÚRICA – OPOGODO, CHOCO

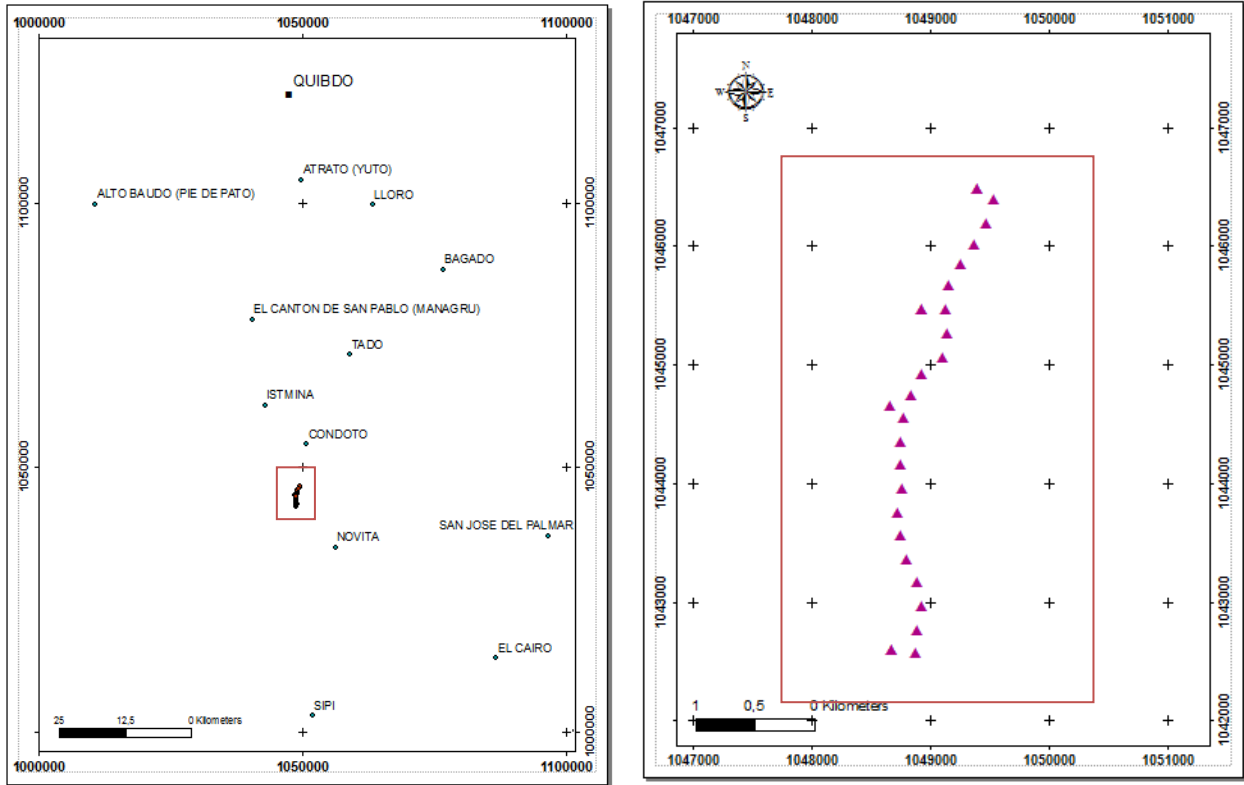


Fig 17. Perfil magnetotelúrico.

## CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

El Departamento del Chocó está situado en el occidente del país, en la región de la llanura del Pacífico; localizado entre los 04° 00' 50" y 08° 41' 32" de latitud norte y los 76° 02' 57" y 77° 53' 38" de longitud oeste. La superficie del Departamento es de 46.530 km<sup>2</sup> y limita por el Norte con la República de Panamá y el mar Caribe, por el Este con los departamentos de Antioquia, Risaralda y Valle del Cauca, por el Sur con el departamento del Valle de Cauca, y por el Oeste con el océano Pacífico. El departamento del Chocó está dividido en 21 Municipios.

## HIDROGRAFÍA

El sistema hidrográfico es uno de los más abundantes e interesantes del país; además de los ríos Atrato, San Juan y Baudó, son importantes los ríos Andágueda, Bebará, Bebaramá, Bojayá, Doccampadó, Domingodó, Munguidó, Opogodó, Quito, Salaquí, Sucio y Tanela.

## CLIMATOLOGÍA

El territorio departamental se halla dentro de la zona de calmas ecuatoriales, caracterizada por la alta pluviosidad, con registros más de 9.000 mm de precipitación anual. La temperatura de sus valles y tierras bajas costaneras es superior a los 27°C, por lo general acompañada de alta humedad relativa (90%); estos factores que han sido desfavorables para la incorporación total de este territorio a la economía nacional. La vegetación, como consecuencia de su ubicación y clima, es muy variada y rica. En el departamento se encuentra el parque nacional natural Utría y comparte con el departamento de Antioquia, el parque nacional natural de los Katíos, y con los departamentos Risaralda y Valle del Cauca, el parque nacional natural de Tatamá.

## CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE TRABAJO

El perfil magnetoteléúrico se realizó a 84 km al sur de Quibdó entre los corregimientos de Opogodó y San Lorenzo (Condoto, Chocó), en una línea recta de 4 km, sobre la carretera que comunica a estos dos corregimientos. El ecosistema del área corresponde a selva húmeda tropical (fig. 18) a 70 m. sobre el nivel del mar, una temperatura promedio de 28°C y una topografía plana. La mayor actividad económica es la explotación minera (oro y platino), seguida de la explotación maderera.



*Fig 18. Parte inicial de la línea*



*Fig 19. Sector intermedio*





*Fig 20. Localización del pozo*



*Fig 21. Sector final del perfil*



*Fig 22. Cruce sobre el Río*

## ESTRATIGRAFÍA

El área del proyecto se encuentra ubicada en la cuenca del Chocó y se encuentran unidades geológicas que 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 Cenozoico.

EDAD: Cretácico.

---

## FORMACIÓN IRÓ

AUTOR: V. Oppenheim, 1949 Geología de la Costa Sur del Pacífico de Colombia, *Inst. Geof. Andes Colomb.*, ser. C, Geol., *Bol* nº 1, fig. 3, Bogotá

SECCION TIPO: Llanura costera del Pacífico, en la región del Chocó.

LITOLOGIA: Se puede dividir en tres unidades,

**Iró inferior:** Está constituido por calizas (biomicritas wackestone y packstone) en capas delgadas a medias, intercaladas con chert, shales silíceos y shales negros, carbonosos y fósiles y en menor proporción por areniscas fino granulares, café claro y gris oscura, en matriz arcillosamedio.

EDAD: Paleoceno Inferior.

**Iró Medio:** Está constituido por areniscas de grano fino intercaladas con arcillolitas y limolitas.

EDAD: Paleoceno Superior.

**Iró Superior:** Está constituido por calizas en capas delgadas a medias, intercaladas con chert, shales silíceos y shale negros, carbonosos y fósiles y en menor proporción por areniscas fino granulares, café claro y gris oscura, en matriz arcillosamedio.

EDAD: Eoceno medio a superior.

AMBIENTE DE DEPÓSITO: Medio con alta productividad biológica en ambiente de frente de playa, que evoluciona a plataforma de carbonatos, formados costa afuera por encima del nivel de base de acción de tormentas.

---

## GRUPO SAN JUAN

Constituido por las Formaciones Istmina, Conglomerado de la Mojarra y Condoto.

---

### FORMACIÓN ISTMINA

SECCIÓN TIPO: No determinada.

LITOLOGÍA: Limolitas, arcillolitas grises, blandas, silíceas, algunas calcáreas, localmente areniscas de grano fino intercaladas con capas de conglomerado.

EDAD: Mioceno Inferior.

AMBIENTE DE DEPÓSITO: Corresponde a la parte distal de un abanico submarino a profundidades batiales.

---

## CONGLOMERADO DE LA MOJARRA

SECCIÓN TIPO: No determinada.

LITOLOGÍA: Conglomerado masivo, lodo soportado a grano soportado en matriz arcillosa o grava, compuesto por guijarros, cantos y bloques de cuarzdioritas, chert, calizas y rocas extrusivas, interestratificado con capas de arenisca de grano medio a grueso y limolitas. Hacia el tope muestra fragmentos de plantas.

EDAD: Mioceno Inferior.

AMBIENTE DE DEPÓSITO: Abanico submarino en su parte proximal.

---

## FORMACIÓN CONDOTO

SECCIÓN TIPO: No determinada.

LITOLOGÍA: Secuencia de areniscas y conglomerados, en menor proporción arcillolitas y limolitas, la arenisca es de grano fino a medio, lítica. El conglomerado está constituido por guijarros subangulares de chert, areniscas, calizas, basaltos y cuarzdioritas, en matriz de arena de grano medio a grueso. En toda la secuencia se encuentran restos de materia orgánica.

EDAD: Mioceno Medio.

AMBIENTE DE DEPÓSITO: Abanicos submarinos a profundidades batiales.

---

## FORMACIÓN MAYORQUIN

SECCIÓN TIPO: No determinada.

LITOLOGÍA: Conglomerados basales y areniscas localmente fosilíferas interestratificadas con lodolitas, ocasionalmente con restos de plantas.

EDAD: Plioceno.

AMBIENTE DE DEPÓSITO: Ambiente continental de abanicos aluviales con influencia marina en su parte distal.

---

## FORMACIÓN RAPOSO

SECCIÓN TIPO: No determinada.

LITOLOGÍA: Conglomerados con algunos niveles de arenas y lodolitas, el conglomerado está constituido por guijos subangulares a subredondeados mal seleccionados de rocas volcánicas básicas, rocas plutónicas y sedimentitas.

EDAD: Plioceno.

AMBIENTE DE DEPÓSITO: Ambiente continental de abanicos aluviales con influencia marina en su parte distal.

## DEPÓSITOS CUATERNARIOS

SECCIÓN TIPO: No reportada.

LITOLOGÍA: Principalmente gravas, areniscas y areniscas que corresponden a depósitos aluviales y costeros.



*Fig 23. Detalles de afloramientos*

A continuación se muestra la columna estratigráfica de las unidades presentes en el área de trabajo y los rangos de resistividad esperados

**COLUMNA ESTRATIGRAFICA CUENCA DEL CHOCO**

ERA	PERIODO	SERIE	FORMACION	LITOLOGIA	ESPESOR m.	BATIMETRIA	RESISTIVIDAD Ohm
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO					130
		PLEISTOCENO			400		
	NEÓGENO	PLIOCENO	RAPOSO / MAYORQUÍN		220		100
		MIOCENO	CONDOTO		1000		
			MOJARRA ITSMINA		250 700		150
	PALEOGENO	OLIGOCENO					
		EOCENO	IRO SUPERIOR		500		500 70
	PALEOCENO	IRO INFERIOR		400		800	
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	BASAMENTO GRUPO DIABÁSICO		1500		250

Fig 24. Columna estratigráfica generalizada con intervalos de resistividades medidas y estimadas para el área de trabajo.



## INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL

El perfil se Localiza en el bloque colgante de la falla de inversión de la Cuenca del Atrato San Juan

### ESTILO ESTRUCTURAL DE FALLAS TRANSCURRENTES.

La existencia de un conjunto de lineamentos orientados en dirección N 55°-60°E y n 60° W.

Algunos de estos lineamentos, en especial los de orientación NE, son fallas de rumbo con desplazamiento dextral que cortan a las estructuras preexistentes, y a la vez generaran un sistema de relevo en échelon.

La orientación de esta sección es perpendicular al tren estructural principal. Esa orientación es compatible con las direcciones E-W a NW-SE del máximo esfuerzo compresivo.

La estructura involucra subducción y el levantamiento de la Cordillera Occidental como el resultado de la inversión de fallas normales de alto ángulo preexistentes, (Taboada *et al*, 2000).

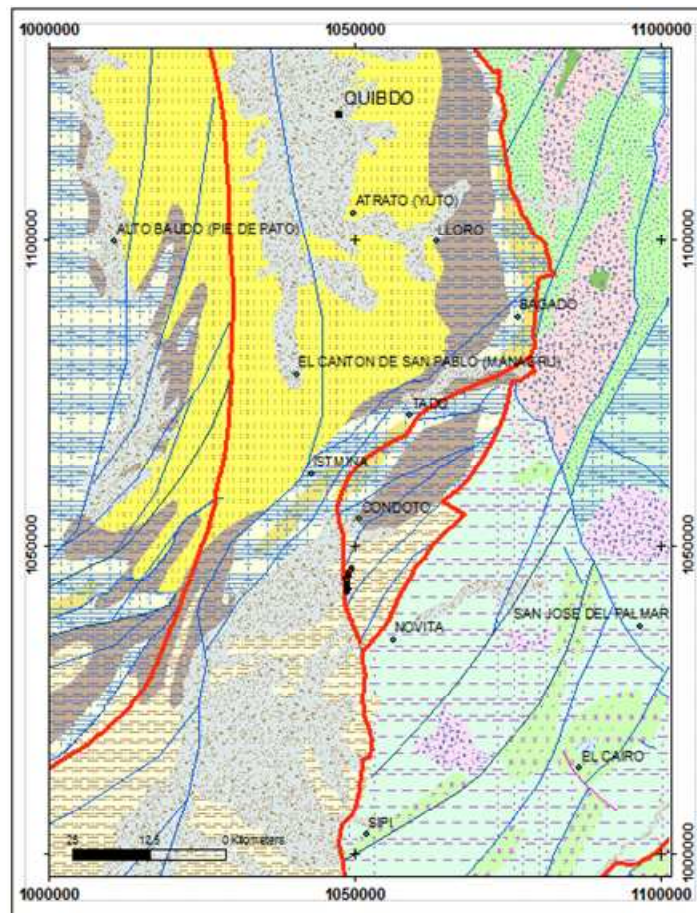


Fig 25. Mapa geológico generalizado -Chocó

El mapa geológico del área Ingeominas plancha 83 1:100.000 presenta un área sin deformación estructural ver Fig 28

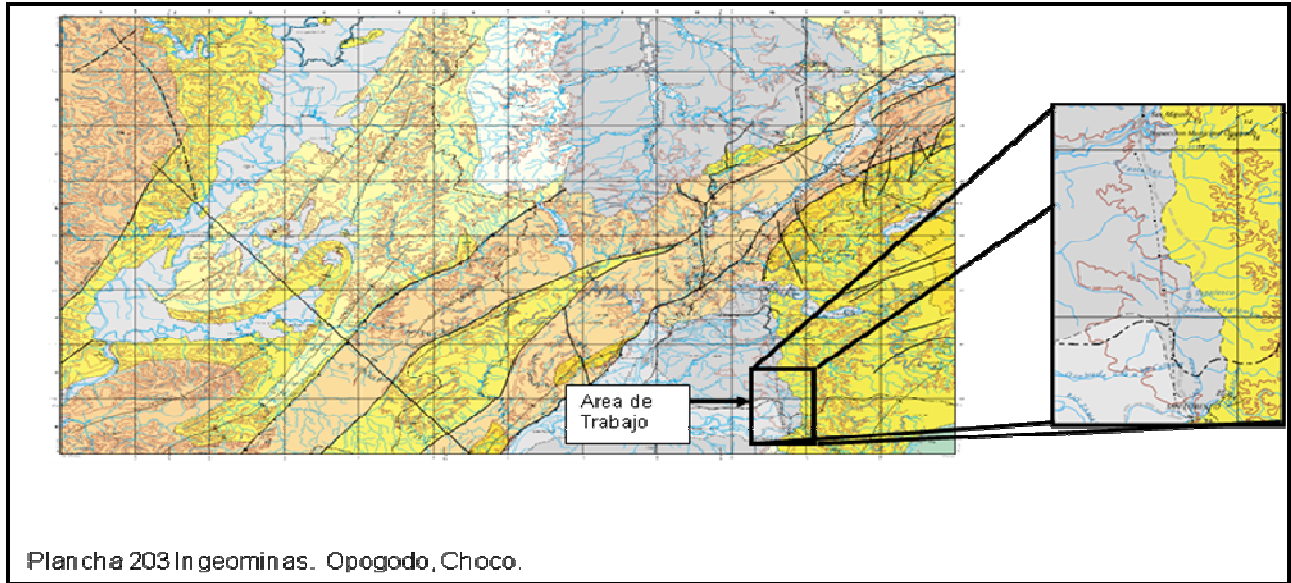


Fig 26. Cartografía geológica existente

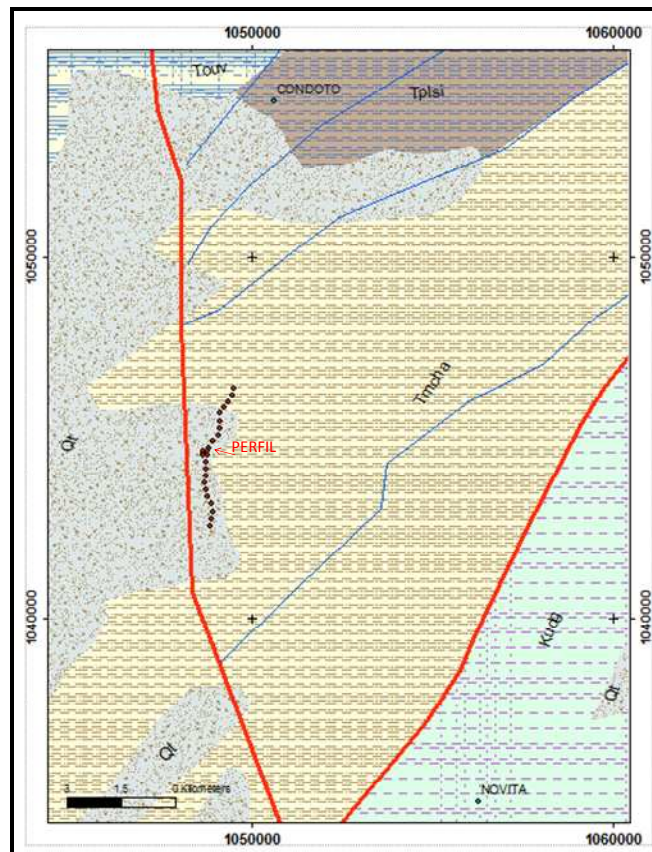


Fig 27. Localización perfil de magnetotelúrica



Con base en las observaciones de imágenes de satélite y controles de campo se observaron una serie de fallas de alto ángulo con una importante componente de rumbo y la dirección de estas fallas es N20°-40° E, Estas fallas se comportan como sintéticas entre sí con una componente predominante dextral y controlan la geometría de la cuenca, conforman límites de bloques estructurales.

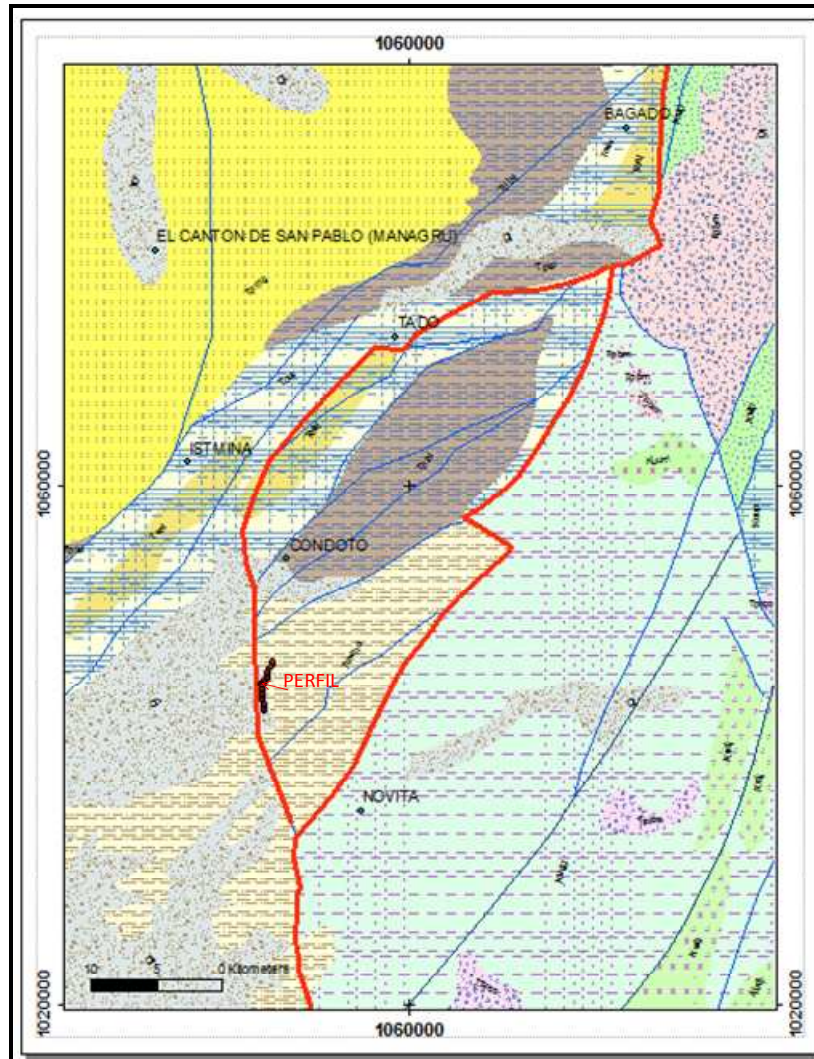


Fig 28. Control Cartográfico

Los resultados del procesamiento de este perfil primero con AMT y el segundo controlado con TEM nos permite interpretar claramente una serie de fallas de carácter importante que limitan bloques y además controlaron los espesores y las facies que se depositaron entre ellos; los diferentes bloques se aprecian en la figuras de los perfiles.

## INTERPRETACION GEOLÓGICA DE PERFILES MAGNETOTELURICOS.

Con base en los resultados obtenidos durante el procesamiento a partir de los datos adquiridos, se pueden tener las siguientes interpretaciones

### INTERPRETACIÓN 1º

A continuación se presenta una secuencia de imágenes en las que se muestran cada uno de los factores que fueron determinantes en la interpretación hecha. En primer lugar fue analizado el perfil de datos procesados, con el fin de identificar las principales anomalías registradas (Fig. 29). El modelo aplicado se basa principalmente en una sucesión sedimentaria la cual presenta algunas variaciones laterales pero no están afectadas por contactos mecánicos.

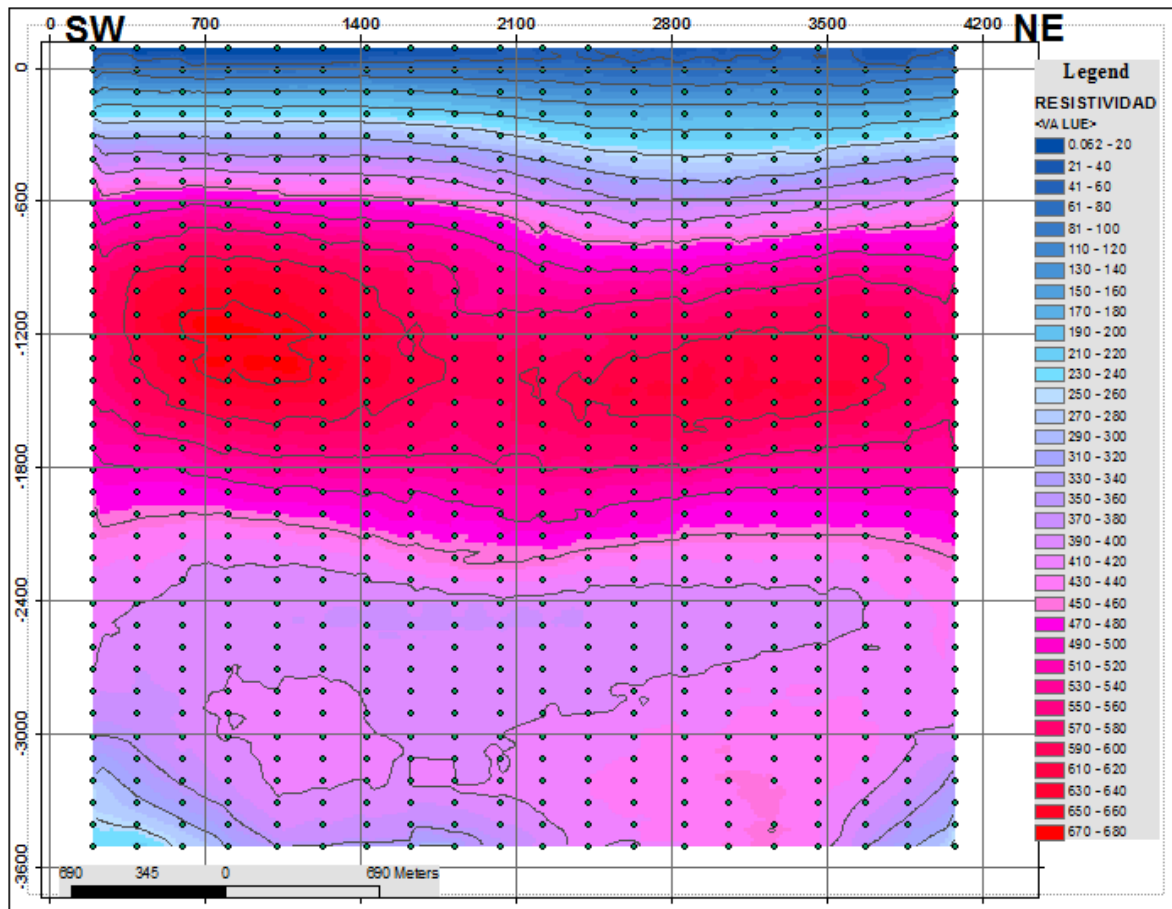


Fig 29. Contornos de Isoresistividad datos procesados

En la Fig. 30 se muestran las fallas identificadas en el perfil, se puede ver una falla principal, con rampa lateral la cual no se ve en superficie, y un par de fallas pequeñas en la base del perfil. Los intervalos de resistividad que presentan continuidad lateral se ven desplazados por estas fallas.

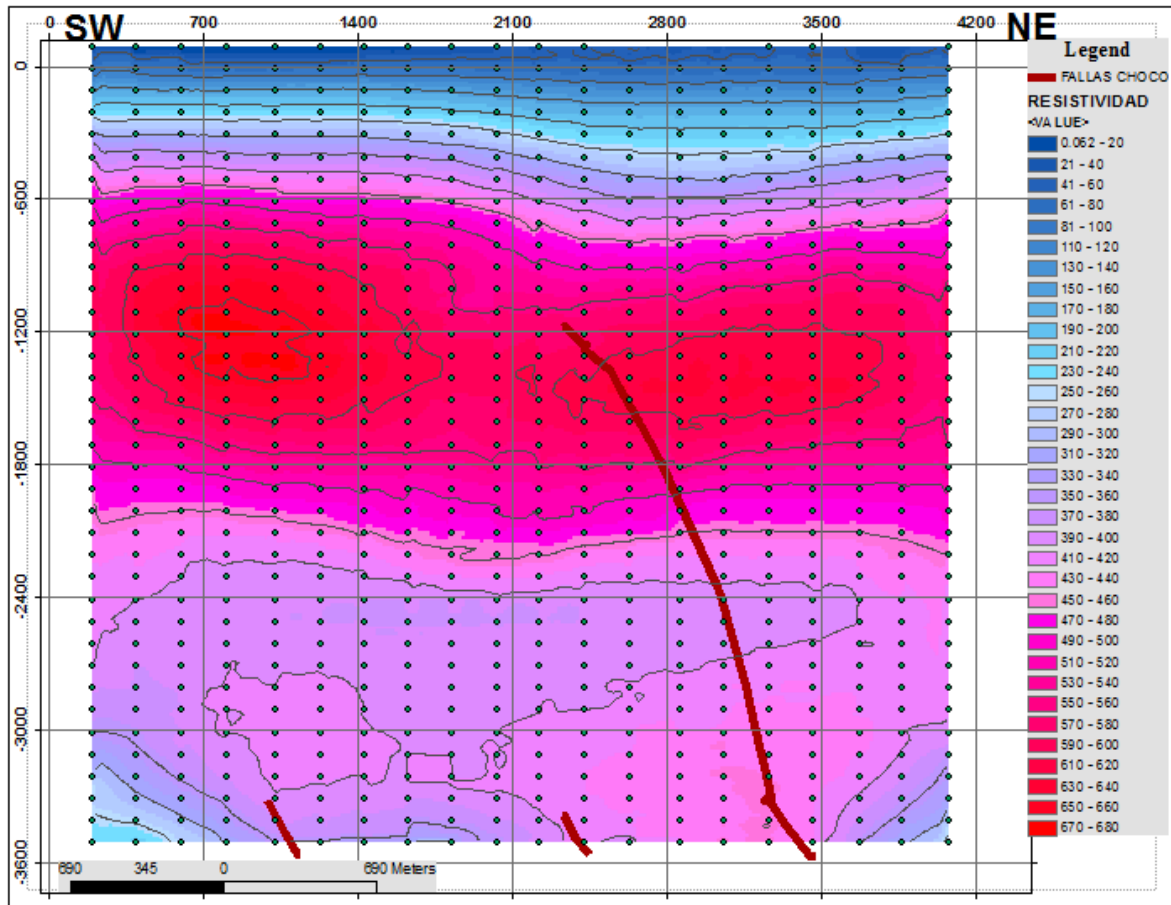


Fig 30. Fallas

En las Fig. 30 y 31 se muestra el proceso de interpretación, este se basa en la continuidad lateral de los intervalos y la secuencia estratigráfica conocida del área, con base en esto se dividió en siete intervalos de resistividades que se muestran las equivalencias con las unidades litoestratigráficas del área de estudio y se relacionan en la siguiente tabla así:

<b>INTERVALO DE RESIST. (Ohm/m)</b>	<b>ESPESOR (m)</b>	<b>VALORES ANOMALOS (Ohm/m)</b>	<b>UNIDAD ESTRATIGRAFICA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	
75-122	220		Raposo - Marroquín	Intervalo continuo, con ligeros cambios laterales debido a variaciones en cantidad y no en tipo de fluido (agua)	QT
100-170	1000-1200 Loc. 1500	88-400	Condoto	En la zona central se presenta mayor resistividad debido a tamaño de grado (grosso a conglomerado). Y mayor espesor por una posible zona de depocentro	Tmc
400-850	200 - 250	130 - 850	Conglomerado de la Mojarra	Es un intervalo más o menos constante tanto en resistividades como en espesor, esto se interpreta como una unidad conglomerática bien consolidada. Cerca a la falla se presenta un cambio de espesor posiblemente por tratarse de una falla activa durante la depositación.	Tmm
138- 177	700 - 1000	380	Itsmina	Intervalos constantes en espesor y resistividad, los cambios de resistividad se presentan de un intervalo a otro, en los cuales se pueden identificar las discordancias.	Tmi
350 - 391	500-600	508	Iro Superior		Teis
485 - 524	400- 500		Iro Inferior		Tpii
225- 273	➤ 500		Grupo Diabásico		Kgd



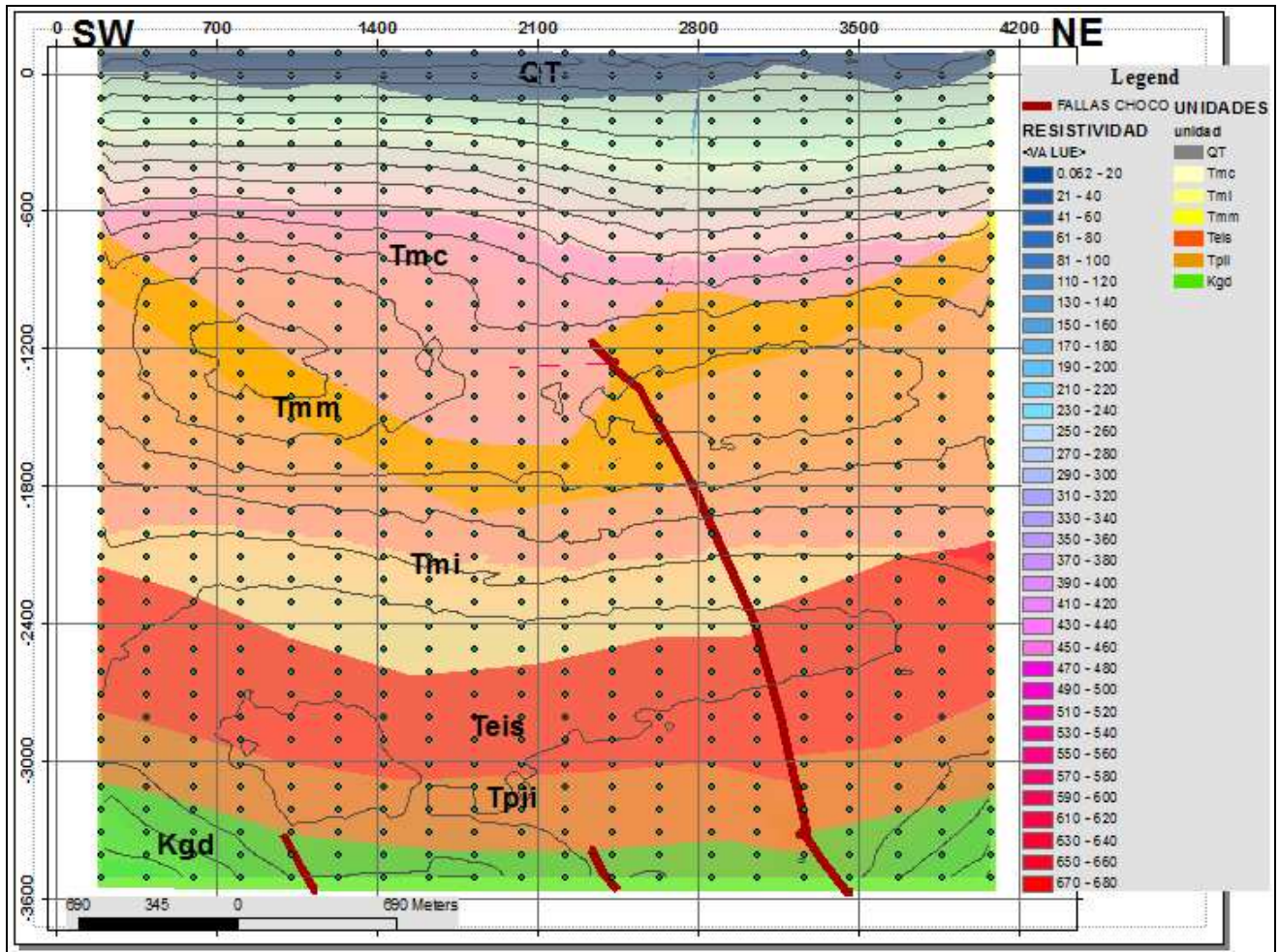


Fig 31. Unidades, Fallas Isorresistividades

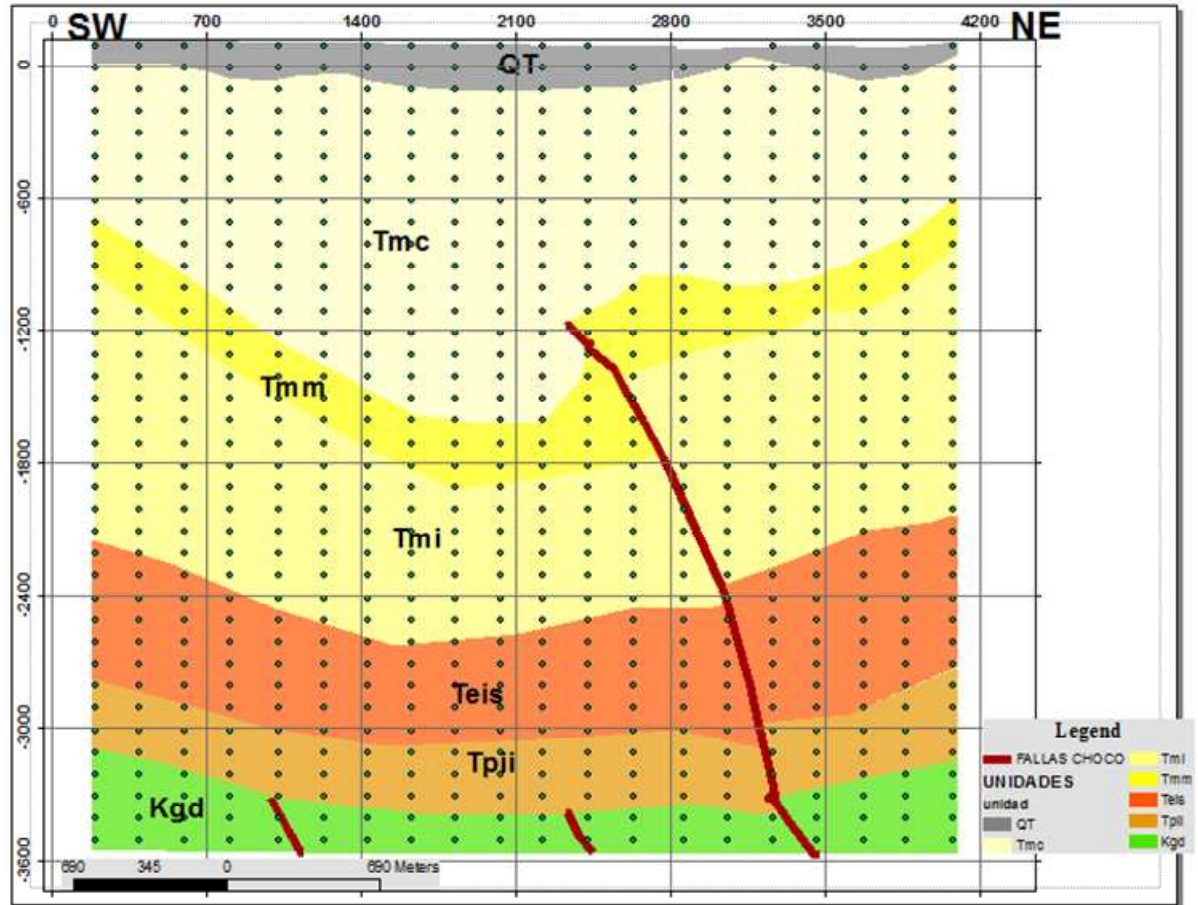


Fig 32. Unidades y fallas – Interpretación final

En la figura se puede ver la interpretación final para este perfil, en esta se aprecian unas fallas fosilizadas en el Cretáceo las cuales están afectando al denominado Grupo Diabásico y una falla mayor con rampa lateral, reactivada después del Cretáceo, la cual queda fosilizada en la Formación Condoto; a lado y lado de esta falla se identifica una actividad sintectónica expresada en desplazamiento y algo de plegamiento de las unidades.

Las formaciones cenozoicas involucradas en la falla principal son Iró (Inferior y Superior), Itsmina y Conglomerado de la Mojarra.



INTERPRETACIÓN 2º

Con base en las observaciones de la geología regional el corte tiene un trazo paralelo a una falla inversa con componente de rumbo, la cual tiene un ángulo de buzamiento de 60º SE, lo que implicaría que el corte disecta los bloques colgante y yacente de esta falla, para esta interpretación la anomalía resistiva entre 450 – 600 ohm podría reflejar el trazo de esta falla.

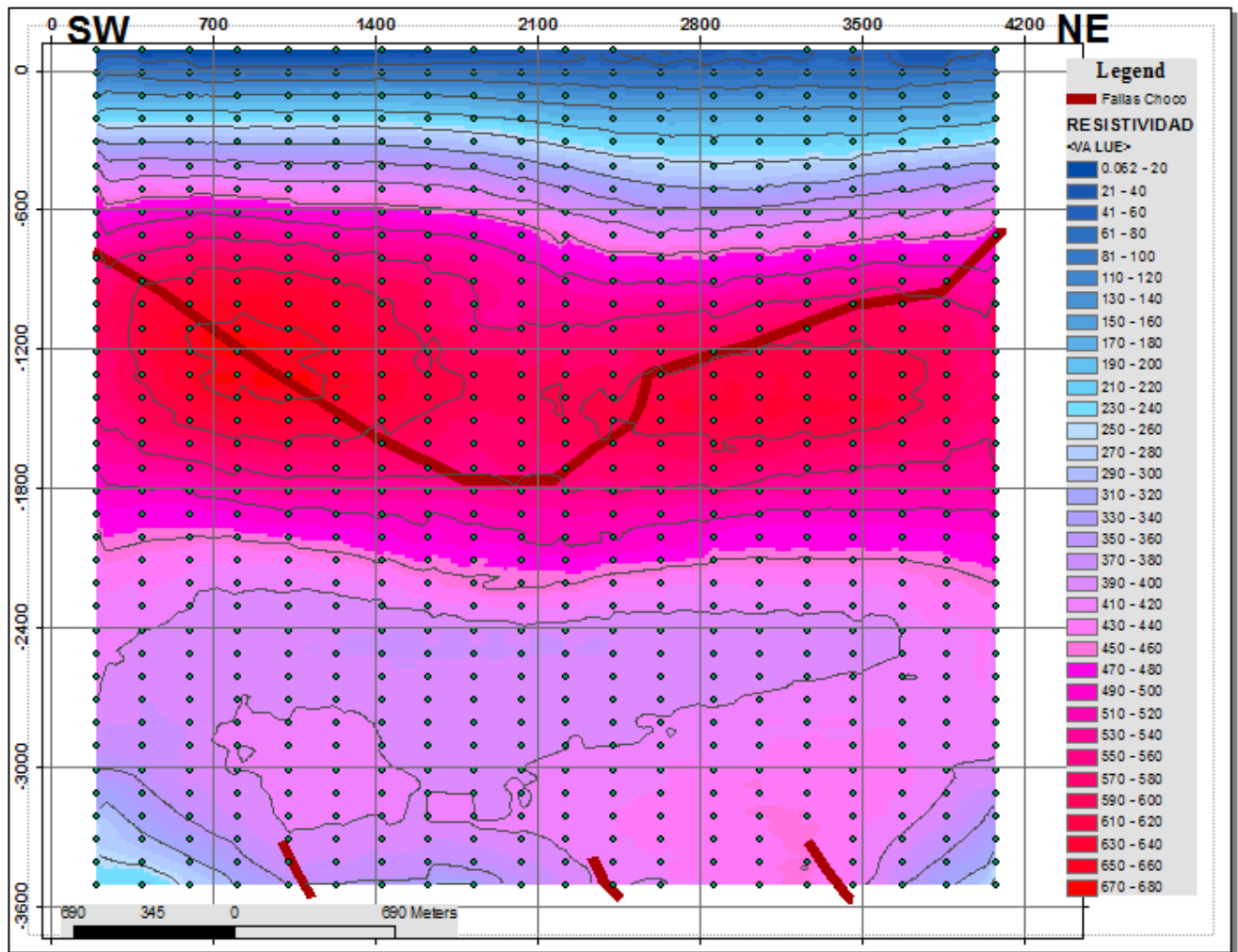


Fig 33. Fallas

Las fallas identificadas se muestran en la Fig 33; la principal inversa y con componente de rumbo con un ángulo de aproximadamente 60º SE reflejada en los contrastes altos de resistividad afectando todo el corte en la parte media, y un sistema de fallas pequeñas que únicamente afectaría la parte más profunda del perfil.

<b>INTERVALO DE RESIST. (Ohm/m)</b>	<b>ESPESOR (m)</b>	<b>VALORES ANOMALOS (Ohm/m)</b>	<b>UNIDAD ESTRATIGRAFICA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	
75-122	50 - 250	-	Raposo - Marroquín	Depósitos no consolidados	QT
100-179	Bl colgante: 1000 – 1300  Bl. Yacente: 800 - 1000	700-850	Condoto - Conglomerado de la Mojarra- Itsmina	Depositos semiconsolidados con variaciones granulométricas importantes pero con fluidos intraformacionales que homogenizan las variaciones en resistividad.	Tmc-i
350-400	Bl. Colgante: 350-400  Bl. Yacente: 500 - 650	Hacia las zonas de falla	Iro Superior	La presencia de facies clásticas más consolidadas posiblemente con cemento calcáreo y en menor proporción calizas nos determinan un aumento en la resistividad, respecto a las unidades suprayacentes.	Teis
475-525	300		Iro Inferior	El predominio de calizas a calizas terrígenas nos marcan un intervalo con resistividades distintivas respecto a las unidades supra e infrayacente.	Tpii
225-275	>500		Grupo Diabásico	La presencia de facies clásticas finas (shale) marcan un gran contraste de resistividades con las unidades suprayacentes.	Kgd

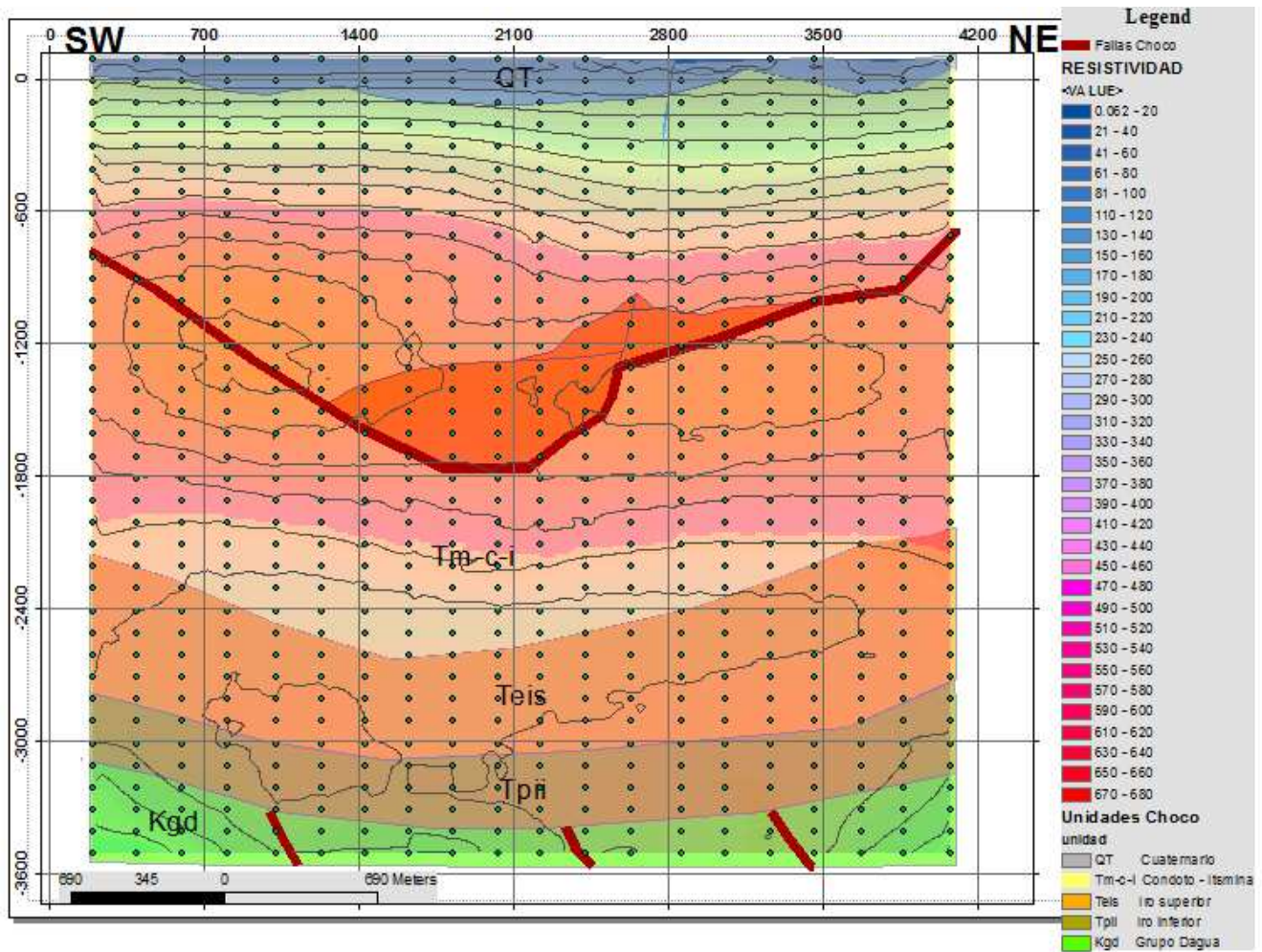


Fig 34. Isoresistividad, fallas y unidades

Finalmente se puede interpretar una estructura con una falla inversa, en la cual se diferencian un bloque colgante y uno yacente, con una repetición de las Formaciones Iró Superior, Itsmina - Condoto, Fig 35

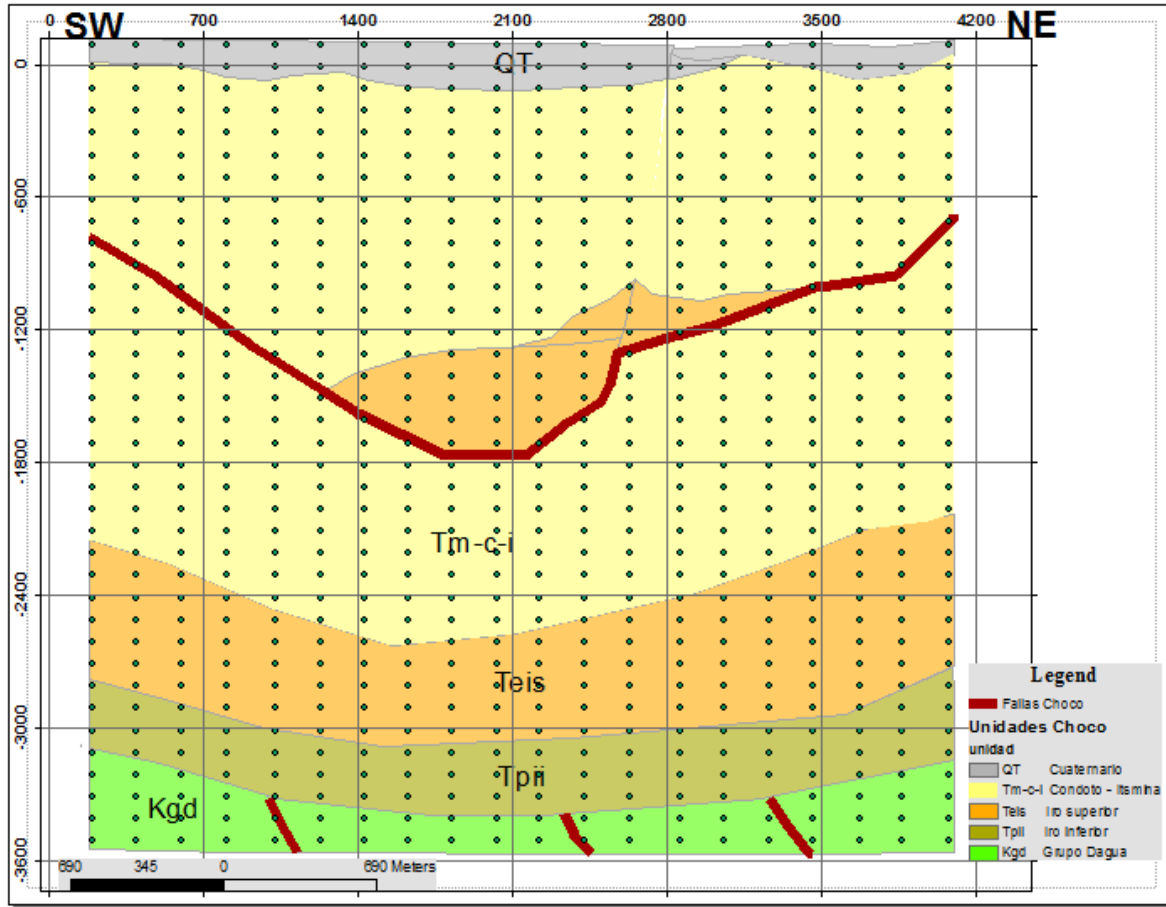


Fig 35. Isoresistividad, fallas y unidades, perfil interpretado

Las anomalías resistivas las asociamos a contactos principales desde superficie así:

## CONCLUSIONES

El espesor esperado de la secuencia sedimentaria es 3500 m. en el área escogida para el pozo.

Las variaciones de resistividad marcan muy bien las fallas y limitan los bloques.

La cantidad de humedad es un factor limitante en la resolución de las variaciones laterales de resistividad.

Las resistividades son más bajas del promedio debido a la gran humedad existente en el área.

La determinación de las unidades se basó en los cambios más marcados pero transicionales entre sí.

## INFORME FINAL DE SEGURIDAD INDUSTRIAL, 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 realizado el seguimiento al Programa de Seguridad Industrial, Salud Ocupacional y Medio Ambiente, también conocido como HSE.

### OBJETIVOS

#### OBJETIVO GENERAL

Se educó y sensibilizó a los colaboradores en lo relacionado con HSE, de manera que adoptaron un comportamiento seguro y de respeto hacia el medio ambiente, tanto en el área de trabajo como de residencia.

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se cumplieron cada uno de los objetivos que se plantearon para el buen desempeño en el área de trabajo.

### CAPACITACIONES

De acuerdo a los requerimientos legales y a las especificidades del trabajo desarrollado por ARIANA LTDA, se identificaron y practicaron las capacitaciones.

## Capacitaciones Realizadas

FECHA	TEMA	DESCRIPCION	ACTIVIDAD
Martes 31-03-09	Inducción ARIANA	Inducción dictada por el personal de de Ariana	Realizada
Martes 31-03-09	Cuidado de EPP	Elementos de protección personal, su estado actual y como deben permanecer.	Realizada
Martes 31-03-09	Plan de Emergencia	Como reaccionar en una emergencia según el plan de Ariana	Realizada
Miércoles 01-04-09	Normas de Seguridad Industrial	Normas de seguridad industrial Ariana y aplicación en el trabajo de campo.	Realizada
Miércoles 01-04-09	Evaluación	Evaluación de los temas vistos hasta el momento, observar claridad en los temas y aplicación de ellos en la vida diaria.	Realizada

## CONCLUSIONES DE HSE

- Las capacitaciones se realizaron de acuerdo al cronograma inicialmente proyectado.
- Como resultado de las correctas practicas en el desarrollo de las políticas de HSE no se presentaron accidentes de trabajo, lo que demuestra que se lograron las metas en los diferentes programas propuestos.

- Dado que los trabajos realizados con los equipos de Magnetotelúrica no revisten peligro alguno al medio ambiente, no se presentó ningún daño al mismo.
  
- En cuanto a la accidentalidad dentro del proyecto, no se presentó ningún accidente de trabajo y por lo tanto para este campo los indicadores de accidentalidad se mantuvieron en cero (0).
  
- Así mismo el personal que se encontraba vinculado al proyecto se encontró todo el tiempo cubierto por el sistema de Seguridad Social (EPS, AFP, ARP) y los parafiscales fueron cancelados en su totalidad.

Ariana Ltda Geólogos Consultores

Nit 800.204.178-0



## 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 Ocupacional	35	Política Programa de salud ocupacional	1. Difusión política SO 2. Legislación en Salud ocupacional Contenido Programa de SO de ARIANA LTDA * Panorama de Riesgos (ergonómico, físico, Biológico, orden público, naturales) * Accidente de Trabajo y enfermedad Profesional (incluye cartilla)

			<ul style="list-style-type: none"> <li>* Comité Paritario</li> <li>* Brigadas de Emergencia</li> <li>* Plan de Emergencia</li> <li>* Normas de Seguridad Industrial (incluye cartilla)</li> <li>* Primeros Auxilios</li> <li>*Cronograma de actividades</li> </ul> <p>3. Obligaciones trabajadores frente empresa contratante en Materia de Salud Ocupacional</p>
Medio Ambiente	35	Programa de Medio Ambiente	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Difusión política</li> <li>2. Legislación en Medio Ambiente</li> <li>3. Contenido Programa de Medio Ambiente de ARIANA LTDA</li> <li>4. Organización responsabilidades</li> <li>5. Marco teórico del Programa de Medio Ambiente</li> <li>6. Plan de Manejo Ambiental</li> </ol> <p>PROGRAMA DE INDUCCIÓN Y ENTRENAMIENTO del proyecto</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización</li> </ul>

			<p>ambiental área</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Principales impactos</li> </ul> <p>Medidas de Manejo.</p> <p>7. Obligaciones trabajadores frente empresa contratante en Materia de Medio Ambiente.</p>
--	--	--	---

### Capacitaciones Específicas

FECHA	TEMA	DESCRIPCION
Martes 31-03-09	Inducción ARIANA	Inducción dictada por el personal de de Ariana
Martes 31-03-09	Cuidado de EPP	Elementos de protección personal, su estado actual y como deben permanecer.
Martes 31-03-09	Plan de Emergencia	Como reaccionar en una emergencia según el plan de Ariana
Miércoles 01-04-09	Normas de Seguridad Industrial	Normas de seguridad industrial Ariana y aplicación en el trabajo de campo.
Miércoles 01-04-09	Evaluación	Evaluación de los temas vistos hasta el

		<p>momento, observar claridad en los temas y aplicación de ellos en la vida diaria.</p>
--	--	---

---

## 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 PROYECTO MAGNETOTELURICA OPOGODÓ, CHOCO2009

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
Trasporte Zona	30		*				Vehículos
Reconocimiento del área	15				*		Trabajo de 300 m con 2 electrodos por punto. Total de 20 puntos. Queda en la mitad de la línea al frente del punto distanciado 300 m.
Equipo de transmisión tendido del cableado.	30	*					
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 300m y rastrean 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 PROYECTO MAGNETOTELURICA OPOGODÓ, CHOCO**

**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**

<b>FECHA</b>	<b>TEMA</b>	<b>DESCRIPCION</b>
Martes 31-03-09	Inducción ARIANA	Inducción dictada por el personal de de Ariana
Martes 31-03-09	Cuidado de EPP	Elementos de protección personal, su estado actual y como deben permanecer.
Martes 31-03-09	Plan de Emergencia	Como reaccionar en una emergencia según el plan de Ariana
Miércoles 01-04-09	Normas de Seguridad	Normas de seguridad industrial Ariana y aplicación en el trabajo de campo.

	Industrial	
Miércoles 01-04-09	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: Martes 31-03-09
- 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: Miércoles 01-03-09

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: Martes 31-03-09
- 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: Miércoles 01-03-09

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: Miércoles 01-04-09
- 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: Jueves 02-04-09

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