



Oficina Madrid

C/ Mahón 10, 1º D, oficina 2
28230 Las Rozas de Madrid
Madrid (España)
Teléfono: 916402879

Oficina Huelva

C/ Ayamonte nº 32
21600 Valverde del Camino
Huelva (España)
Teléfono: 959555070
CIF B-21358544

**ESTUDIO MEDIANTE SONDEOS
ELECTROMAGNETICOS EN EL DOMINIO DE
TIEMPOS CON FINES HIDROGEOLOGICOS EN
LA LAGUNA DE FUENTE DE PIEDRA
(MÁLAGA).**

IGME

AGOSTO-NOVIEMBRE-2006



Oficina Madrid
C/ Mahón 10, 1º D, oficina 2
28230 Las Rozas de Madrid
Madrid (España)
Teléfono: 916402879

Oficina Huelva
C/ Ayamonte nº 32
21600 Valverde del Camino
Huelva (España)
Teléfono: 959555070
CIF B-21358544

ÍNDICE

1. Introducción y objetivos	1
2. Metodología y equipo técnico	4
3. Resultados y conclusiones	7
APÉNDICE A: Breve explicación del método	34
APÉNDICE B: Instrumentación	36
APÉNDICE C: Modelos	41
APÉNDICE D: Figuras	44
APÉNDICE E: Reportaje fotográfico	71



1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.



1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

El presente estudio fue realizado durante los meses de Agosto a Noviembre de 2006 en la Laguna de Fuente de Piedra y sus alrededores (Málaga) para cubrir los siguientes objetivos:

- 1.- Medidas Electromagnéticas realizadas sobre la laguna.
- 2.- Medidas Electromagnéticas realizadas alrededor de la laguna.
- 3.- Medidas Electromagnéticas en dos de las Sierras que la rodean.

Dependiendo del objetivo geológico a cubrir la profundidad del estudio requerida es diferente, por lo que los bucles Electromagnéticos realizados tienen diferentes tamaños, a continuación se presenta una tabla con las coordenadas aproximadas propuestas y la profundidad y el tamaño de los bucles requeridos a priori para llegar a esa profundidad:

BUCLE	COORDENADAS	PROFUNDIDAD	TAMAÑO DEL BUCLE
1	344345 4110500	200-250	100x100
2	343230 4108330	200-250	100x100
3	341910 4107375	200-250	100x100
4	342700 4107040	200-250	100x100
5	341530 4107750	200-250	100x100
6	343745 4109285	200-250	100x100
7	342900 4109800	200-250	100x100
8	342220 4108775	200-250	100x100
9	341500 4106800	200-250	100x100
10	343410 4110945	150	100x100
11	342050 4109800	150	100x100



12	<i>342000 4115000</i>	<i>150</i>	<i>100x100</i>
13	<i>342800 4112500</i>	<i>150</i>	<i>100x100</i>
14	<i>344250 4106000</i>	<i>150</i>	<i>50x50</i>
15	<i>347250 4114500</i>	<i>150</i>	<i>100x100</i>
16	<i>350400 4110150</i>	<i>150</i>	<i>100x100</i>
17	<i>348300 4117200</i>	<i>150</i>	<i>50x50</i>
18	<i>352700 4112750</i>	<i>150</i>	<i>50x50</i>
19	<i>346200 4106400</i>	<i>150</i>	<i>50x50</i>
20	<i>Sierra de Humilladero</i>	<i>250</i>	<i>200x200</i>
21	<i>Sierra de Molina</i>	<i>250</i>	<i>200x200</i>



2.- METODOLOGÍA Y EQUIPO TÉCNICO.



2.- METODOLOGÍA Y EQUIPO TÉCNICO.

El presente estudio ha sido dirigido e interpretado por Isla Fernández Rodríguez, licenciada en CC. Físicas por la Universidad Complutense de Madrid (especialidad de geofísica). El trabajo de campo fue realizado por Yolanda Verges Leandro y Luís Javier Pérez Rodríguez, licenciados en Geología por la Universidad de Huelva y dirigido por Emilio E. Mora Pérez, operador geofísico.

Para la realización de este estudio electromagnético en el dominio de tiempos se empleó un equipo para prospección electromagnética de la marca ZONGE ENGINEERING AND RESEARCH ORGANIZATION que constaba de un receptor GDP-32, un transmisor ZT-30 y demás equipos y accesorios necesarios para la realización de este tipo de estudios (para más detalle ver Apéndice B).

La realización del trabajo de campo siguió estos pasos:

- Se calibra internamente el receptor, para controlar que no tiene fallos internos. El receptor emite una señal de 1 voltio, y el mismo receptor lee esta señal. Si la medida es cercana a 1 voltio, es que no hay problemas. Esta medida de control se realiza una vez al comenzar cada campaña. En el caso del estudio que nos ocupa se realizó al principio de cada semana que se fue al campo.
- Se sincronizan el receptor y el transmisor para que el receptor conozca la señal emitida por el transmisor y en todos los casos se mida en ausencia de corriente, y por lo tanto en ausencia del campo magnético primario. Esta sincronización se realiza cada día de trabajo, ya que cada vez que se apaga el receptor o la caja controladora del transmisor se pierde la sincronización.
- Se mide cada estación a tres frecuencias de emisión (4Hz, 8Hz y 16Hz) como método de control de errores (hay determinados tipos de ruidos externos que cambiando de frecuencias se pueden evitar).



- Se comprueba en campo si en cada estación se ha llegado a la profundidad requerida a priori. La visualización de los datos en el campo permite determinar con cierta precisión si los datos medidos son lo suficientemente limpios para llegar a una profundidad determinada, pero la determinación de la profundidad del estudio puede variar respecto a la estimada en campo con el receptor de manera notable después de depurar los datos y modelarlos con algoritmos más precisos que los que usa el receptor.
- En varios casos se tuvieron que modificar las posiciones propuestas para evitar el ruido electromagnético externo.
- También en varios casos se realizaron medidas en la misma posición con dos tamaños de bucle diferentes para definir las primeras capas con mayor precisión con el bucle más pequeño.
- Todas las coordenadas de las medidas se presentan en UTM Huso 30 Norte DATUM ED50.

Una vez realizada la toma de datos en campo se pasa al procesado e interpretación de los perfiles en gabinete. Dentro de esta etapa podemos destacar:

- Se depuraron los datos y se modelaron las medidas tomadas en el centro del bucle. Se modelan todas las diferentes frecuencias y se decide para cual de ellas tenemos los datos más limpios.
- Todos los datos se modelan con diferente peso de suavizado y peso del modelo inicial para poder conseguir los modelos más cercanos al modelo geológico esperado (Para más información sobre el programa de modelado ver Apéndice C).



3.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES.



3.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

A continuación pasamos a describir cada bucle en la frecuencia de emisión para la que hemos obtenido los datos más precisos. Para esta frecuencia se han realizado diferentes modelos, usando distintos pesos de suavizado para cada modelo (Ver APENDICE C para obtener más información sobre los modelos), se presentan solo los que se han considerado más adecuados después del análisis de los datos y de la interpretación.

Las imágenes con las curvas de caída y las curvas modeladas, con la resistividad respecto a la profundidad se encuentran en el APENDICE D.

La interpretación como modelos por bloques se encuentra en el fichero TEYGE.XLS

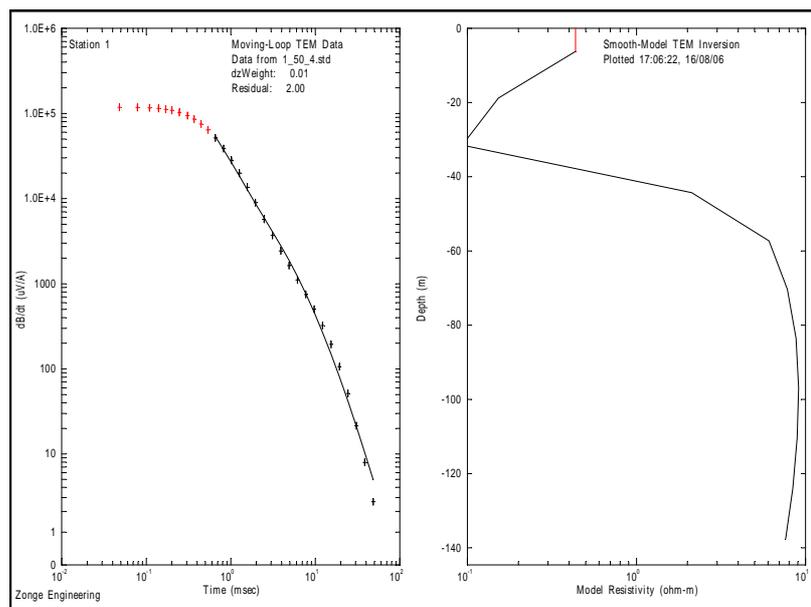
1.- Medidas Electromagnéticas realizadas sobre la laguna.

ESTACIÓN 1

Bucle: 50X50

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 344345 4110500





0-20 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.4 Ohm-m hasta 0.2 Ohm-m
20-30 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.2 Ohm-m hasta 0.1 Ohm-m
30-45 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.1 Ohm-m hasta 2 Ohm-m
45-55 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 2 Ohm-m hasta 7 Ohm-m
55 metros -	capa de unos 7 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 135 metros de profundidad.

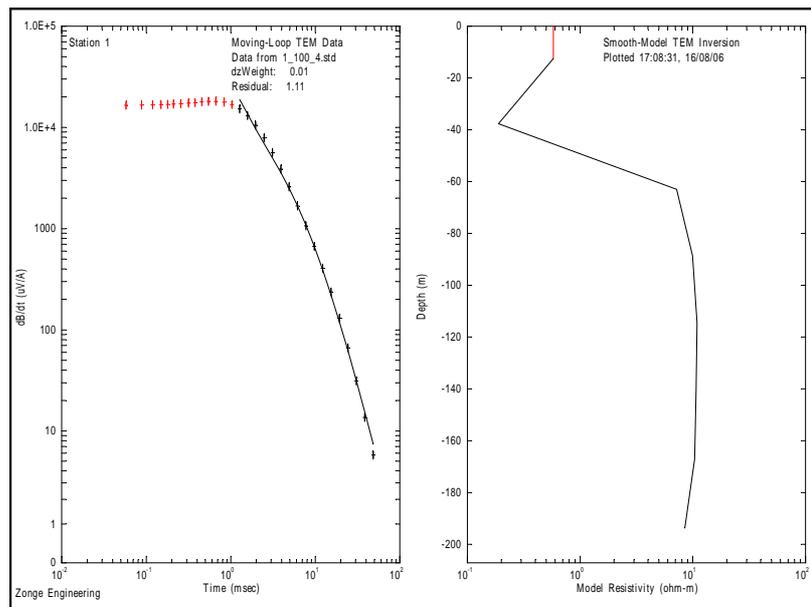
Al ser un medio muy conductivo (agua con una concentración de sal muy alta) las primeras ventanas tienen una caída muy suave, y por este motivo son muy difíciles de modelar con un algoritmo de inversión de suavizado.

ESTACIÓN 1

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 344345 4110500





0-40 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.6 Ohm-m hasta 0.2 Ohm-m
40-60 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.2 Ohm-m 8 Ohm-m
60 metros -	capa de unos 8 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 190 metros de profundidad.

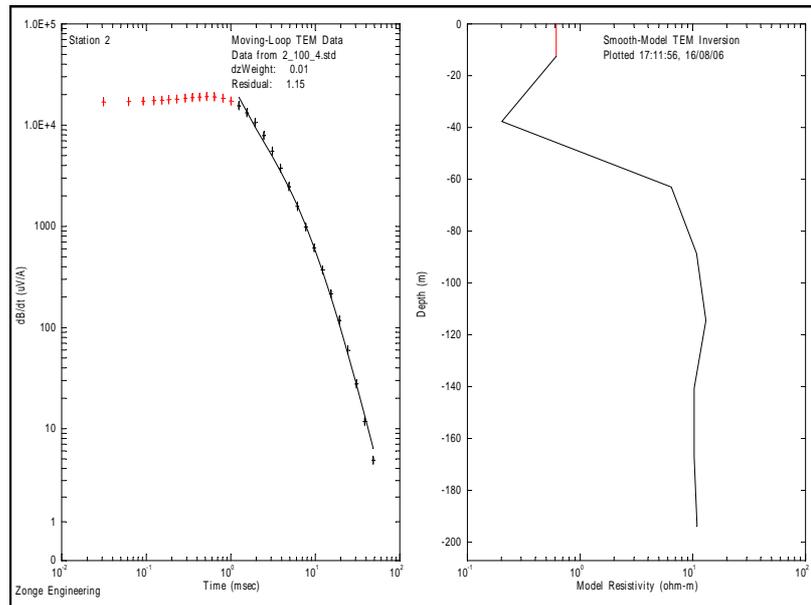
Básicamente la información obtenida es la misma en ambos bucles. Existe un cambio importante a unos 60 metros de profundidad.

ESTACIÓN 2

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 343230 4108330



0-40 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.6 Ohm-m hasta 0.2 Ohm-m
40-60 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.2 Ohm-m 8 Ohm-m
60 metros -	capa de unos 10 Ohm-m.



Hay datos limpios hasta unos 190 metros de profundidad.

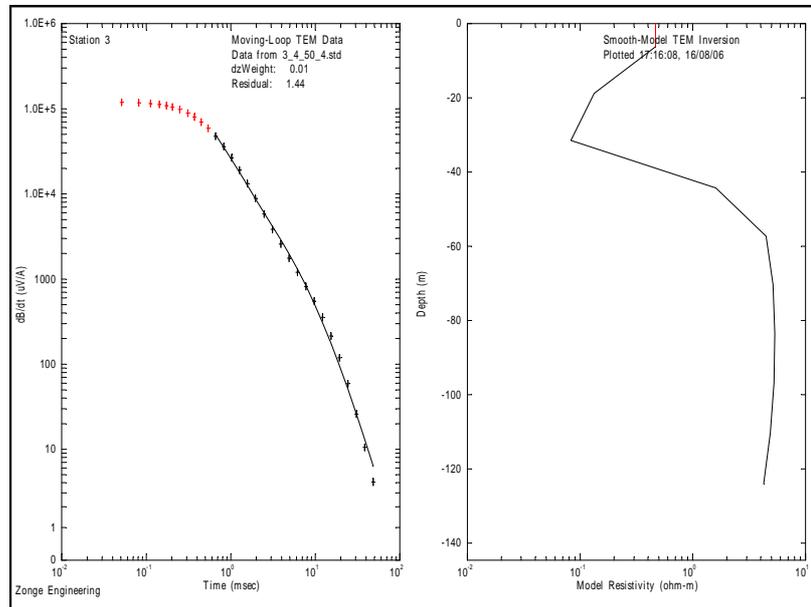
La información obtenida en este punto es muy parecida a la obtenida en la estación anterior.

ESTACIÓN 3

Bucle: 50X50

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 341910 4107375



0-20 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.5 Ohm-m hasta 0.1 Ohm-m
20-30 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.1 Ohm-m hasta 0.06 Ohm-m
30-45 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.06 Ohm-m hasta 2 Ohm-m
45-60 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 2 Ohm-m hasta 5 Ohm-m
60 metros -	capa de unos 5 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 120 metros de profundidad.

El modelo es muy parecido al modelo de la posición 1 con un bucle de 50mx50m.

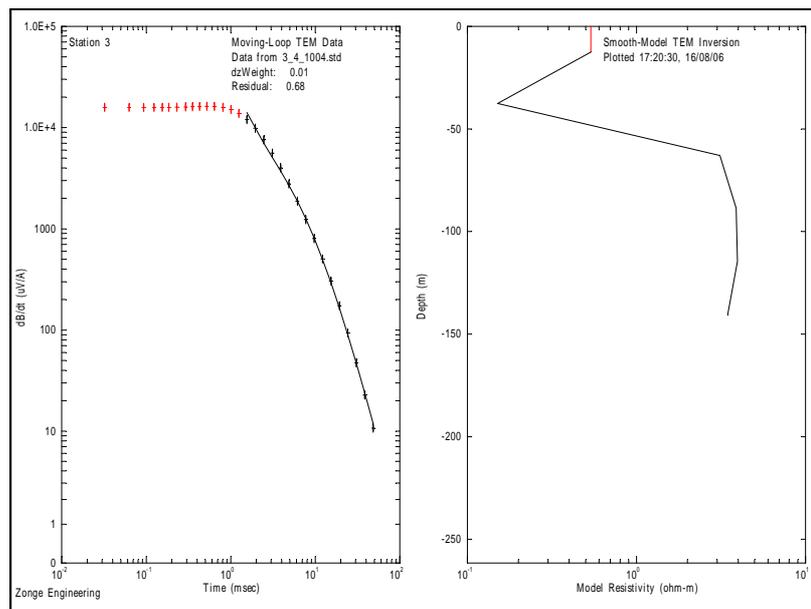


ESTACIÓN 3

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 341910 4107375



0-40 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.5Ohm-m hasta 0.15 Ohm-m
40-60 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.15 Ohm-m hasta 4 Ohm-m
60 metros -	capa de unos 4 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 140 metros de profundidad.

De nuevo la información obtenida en la misma posición con bucles emisores de 50mx50m y 100mx100m es muy parecida, más precisa en los primeros metros con el bucle de 50mx50m, en el que podemos discriminar más capas en los primeros 60 metros.

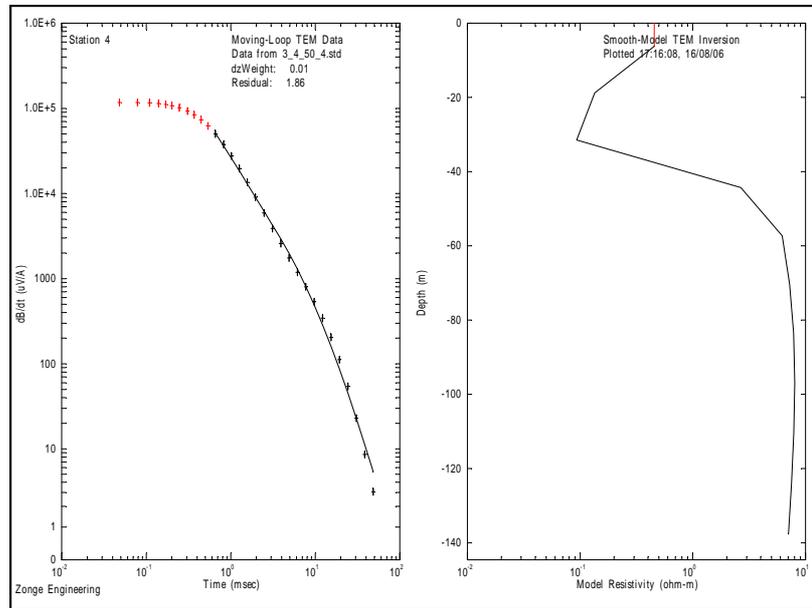
ESTACIÓN 4

Bucle: 50X50

Frecuencia de Emisión: 4Hz



Coordenadas: 342700 4107040



0-20 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.4 Ohm-m hasta 0.1 Ohm-m
20-35 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.1 Ohm-m hasta 0.07 Ohm-m
35-45 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.07 Ohm-m hasta 3 Ohm-m
45-55 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 3 Ohm-m hasta 8 Ohm-m
55 metros -	capa de unos 7 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 135 metros de profundidad.

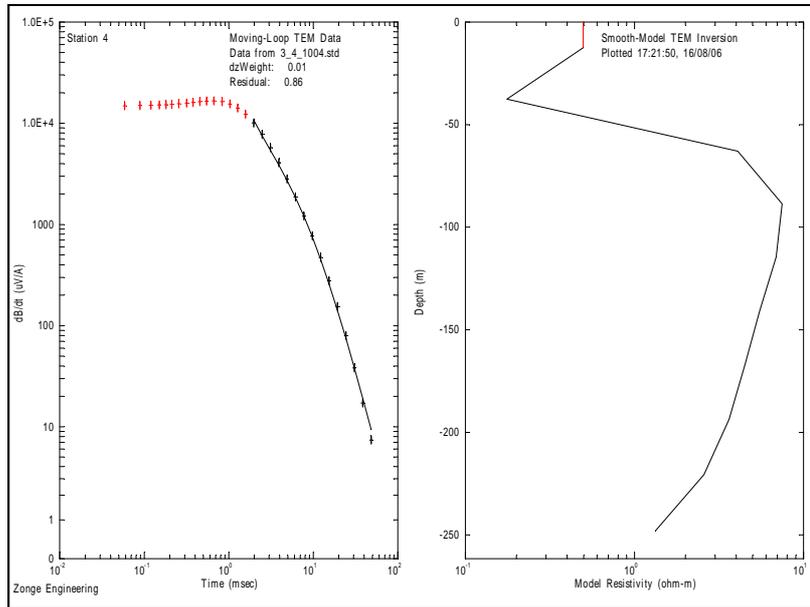
De nuevo tenemos una sucesión de capas hasta 55 metros muy conductivas.

ESTACIÓN 4

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 342700 4107040



0-40 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.45Ohm-m hasta 0.2 Ohm-m
40-60 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.2 Ohm-m hasta 4 Ohm-m
60-80 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 4 Ohm-m hasta 7 Ohm-m
80-220 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 7 Ohm-m 0.25 Ohm-m
220 metros -	capa con una tendencia a la disminución de la resistividad.

Hay datos limpios hasta unos 240 metros de profundidad.

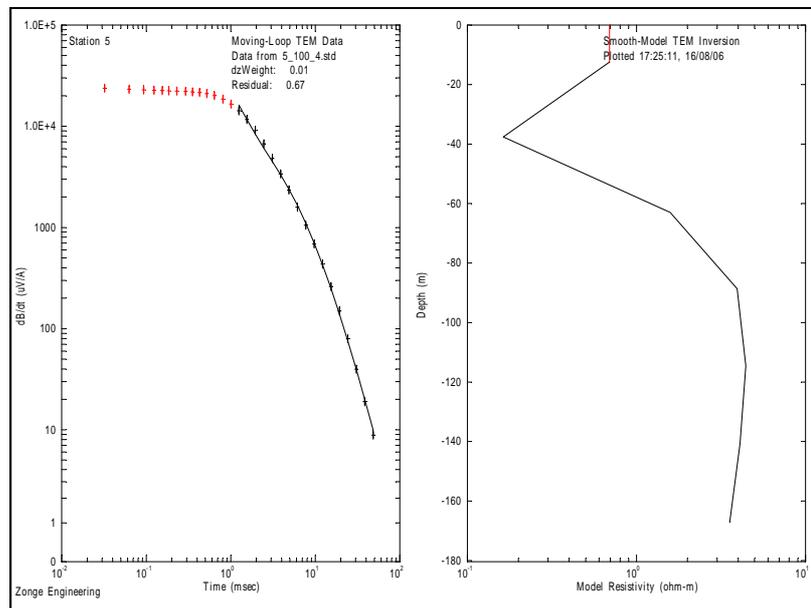
En este caso encontramos una capa más conductiva por debajo de la capa de alrededor de 7-10 Ohm-m que hemos visto hasta ahora en todos los bucles.

ESTACIÓN 5

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 341530 4107750



0-40 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.7 Ohm-m hasta 0.15Ohm-m
40-65 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.15Ohm-m hasta 1.5 Ohm-m
65-90 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 1.5 Ohm-m hasta 4 Ohm-m
90 metros -	capa de unos 4 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 160 metros de profundidad.

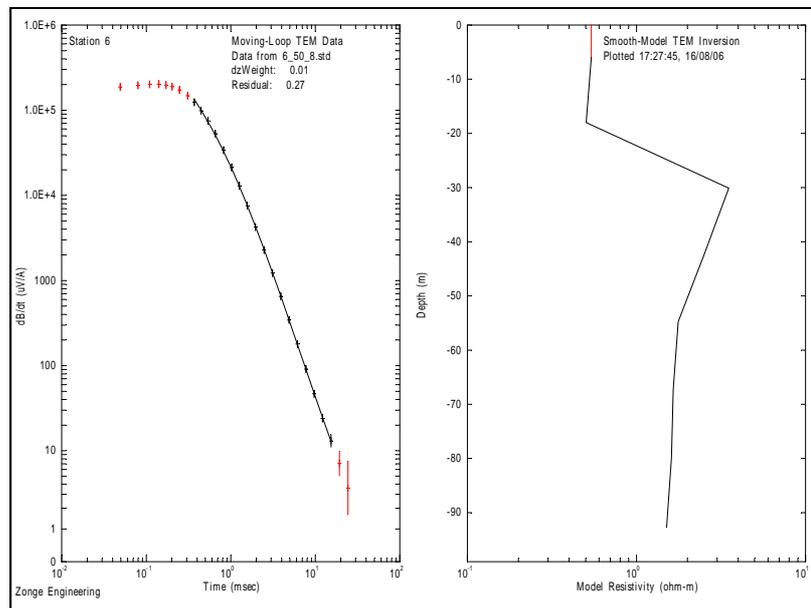
La potencia de las primeras capas muy conductoras es superior que en los casos anteriores, a unos 90 metros. Aunque en este caso la resistividad es menor 4 Ohm-m respecto a los 7, 8 o 10 Ohm-m de los anteriores podemos afirmar que es la misma capa ya que el modelo de suavizado le cuesta llegar a valores altos de resistividad por debajo de una muy conductiva.

ESTACIÓN 6

Bucle: 50X50

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 343745 4109285



0-20 metros	capa de unos 0.5 Ohm-m.
20-30 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.5 Ohm-m hasta 3 Ohm-m
30-55 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 3 Ohm-m hasta 1.5 Ohm-m
55 metros -	capa de unos 1.5 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 90 metros de profundidad.

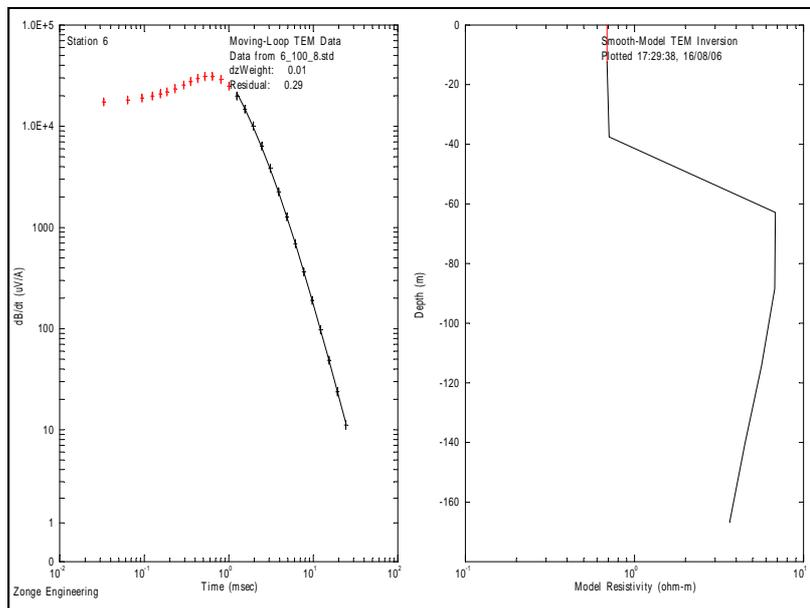
Esta medida es muy diferente a los medidos anteriormente.

ESTACIÓN 6

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 343745 4109285



- 0-40 metros capa de unos 0.7 Ohm-m.
- 40-60 metros capa o conjunto de capas que varían desde 0.7 Ohm-m hasta 7 Ohm-m
- 60-90 metros capa de unos 7 Ohm-m.
- 90 metros - capa con una ligera tendencia a la disminución de la resistividad.

Hay datos limpios hasta unos 160 metros de profundidad.

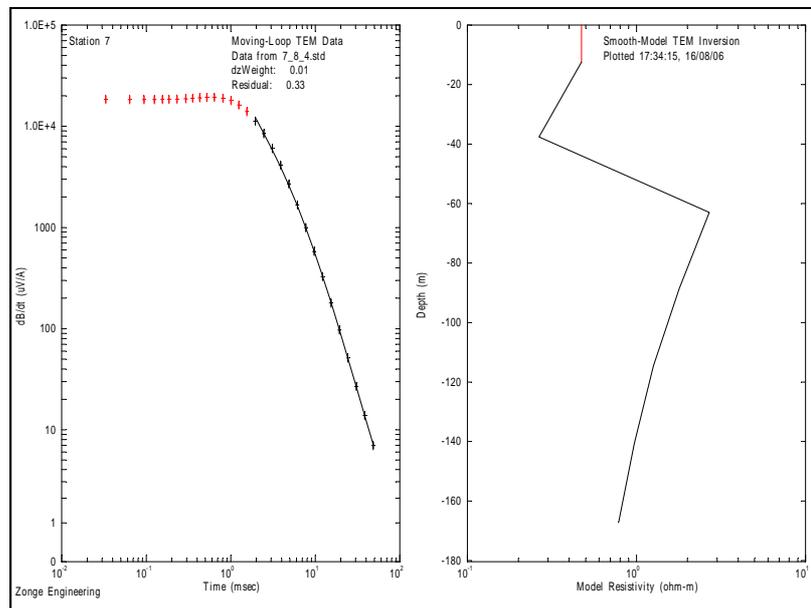
De nuevo en el primer tramo encontramos más información con el bucle más pequeño y llegamos a más profundidad con el bucle más grande.

ESTACIÓN 7

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 342900 4109800



0-40 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.5 Ohm-m hasta 0.2 Ohm-m
40-60 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.2 Ohm-m hasta 3 Ohm-m
60 metros -	capa con una ligera tendencia a la disminución de la resistividad.

Hay datos limpios hasta unos 160 metros de profundidad.

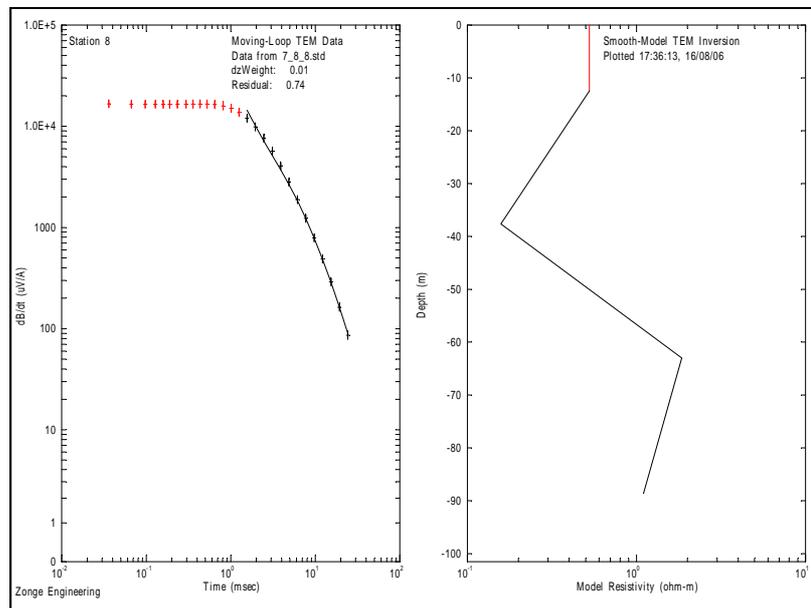
Esta medida es similar a la anterior.

ESTACIÓN 8

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 342220 4108775



0-40 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.5 Ohm-m hasta 0.15 Ohm-m
40-65 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.15 Ohm-m hasta 2 Ohm-m
65 metros -	capa con una ligera tendencia a la disminución de la resistividad.

Hay datos limpios hasta unos 85 metros de profundidad.

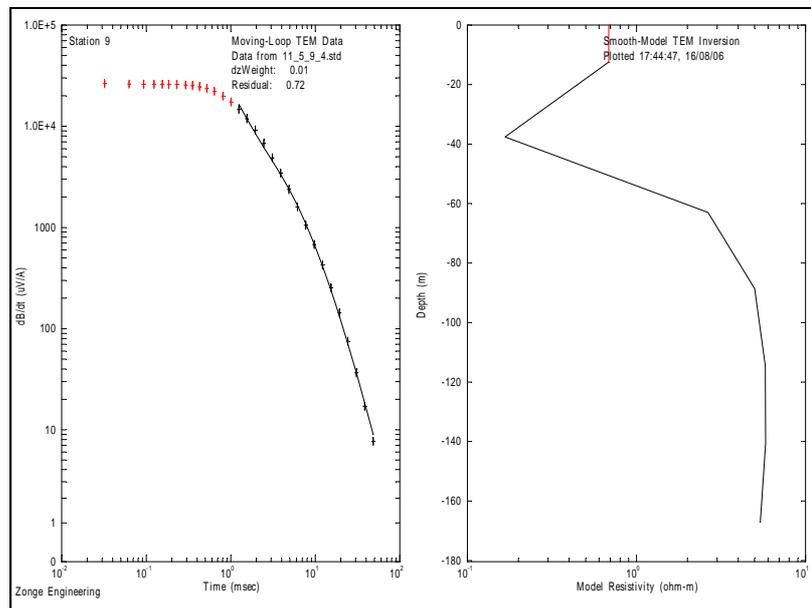
Medida muy parecida a las medidas 6 y 7.

ESTACIÓN 9

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 341500 4106800



0-40 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.7 Ohm-m hasta 0.15Ohm-m
40-60 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.15Ohm-m hasta 2.5 Ohm-m
60-90 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 2.5 Ohm-m hasta 6 Ohm-m
90 metros -	capa de unos 6 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 160 metros de profundidad.

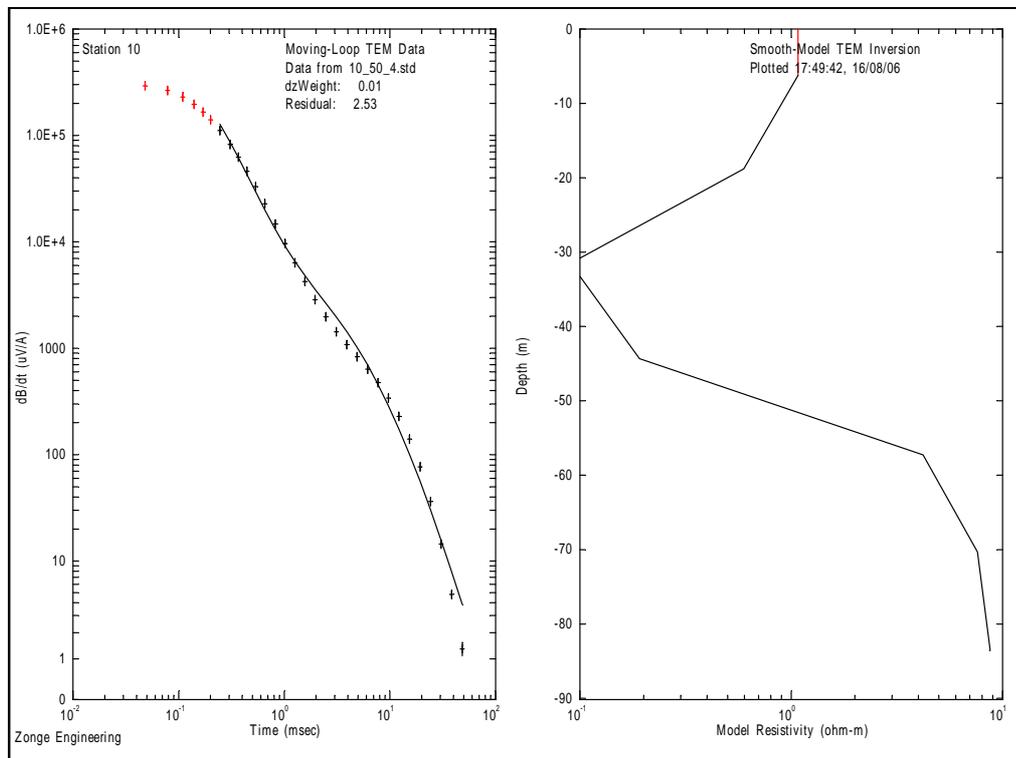
Esta medida se parece mucho a las primeras medidas hasta la 6.

ESTACIÓN 10

Bucle: 50X50

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 343390 4110945



0-20 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 1 Ohm-m hasta 0.6 Ohm-m
20-30 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.6 Ohm-m hasta 0.1 Ohm-m
30-45 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.1 Ohm-m hasta 0.2 Ohm-m
45-55 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 0.2 Ohm-m hasta 5 Ohm-m
55-70 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 5 Ohm-m hasta 8 Ohm-m
70 metros -	capa de unos 8 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 85 metros de profundidad.

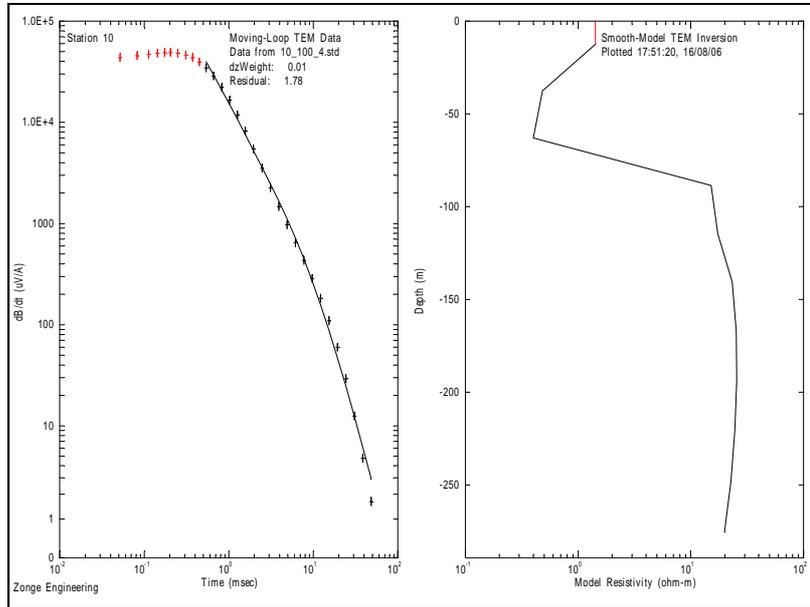
Hasta 55 metros tenemos capas con resistividades menores de 1 Ohm-m.

ESTACIÓN 10

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 343410 4110945



- 0-40 metros capa o conjunto de capas que varían desde 1.5 Ohm-m hasta 0.3 Ohm-m
- 40-70 metros capa o conjunto de capas que varían desde 0.3 Ohm-m hasta 0.2 Ohm-m
- 70-80 metros capa o conjunto de capas que varían desde 0.2 Ohm-m hasta 20 Ohm-m
- 80 metros - capa de unos 20 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 250 metros de profundidad.

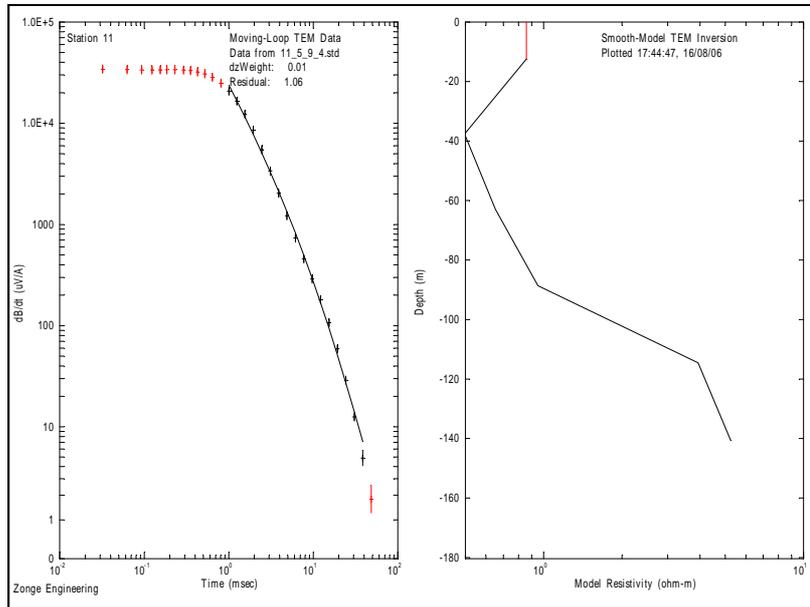
Hasta ahora es el bucle con mayor resistividad en la última capa.

ESTACIÓN 11

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 342048 4109800



- 0-40 metros capa o conjunto de capas que varían desde 0.9 Ohm-m hasta 0.5 Ohm-m
- 40-90 metros capa o conjunto de capas que varían desde 0.5 Ohm-m hasta 0.9 Ohm-m
- 90-110 metros capa o conjunto de capas que varían desde 0.9 Ohm-m hasta 4 Ohm-m
- 110 metros - capa con tendencia al aumento de la resistividad.

Hay datos limpios hasta unos 130 metros de profundidad.

En esta medida no se llega a la capa más resistiva hasta cerca de los 100 metros de profundidad. Esta es la razón por la que no se puede penetrar más, debido a la gran potencia de la capa muy conductiva.

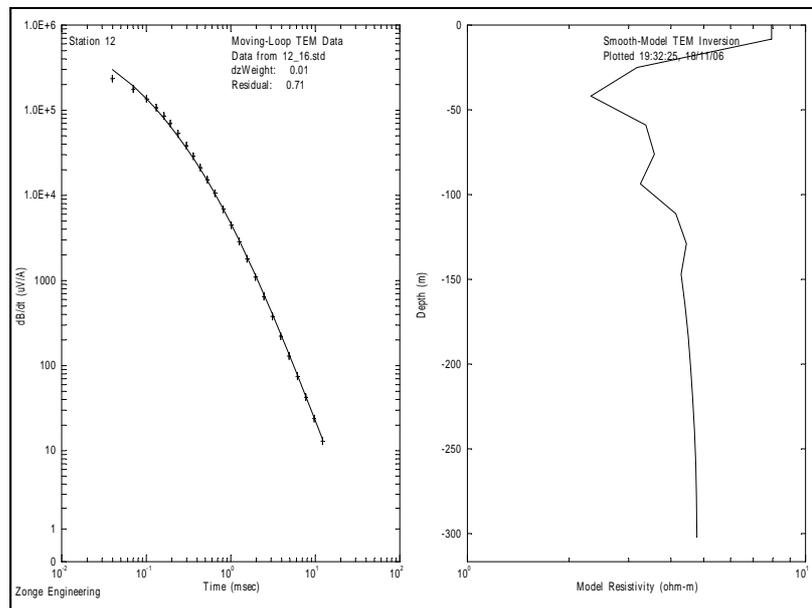
2.- Medidas Electromagnéticas realizadas alrededor de la laguna.

ESTACIÓN 12

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 16Hz

Coordenadas: 341995 4115000



0-20 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 8 Ohm-m hasta 3 Ohm-m
20-40 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 3 Ohm-m hasta 2 Ohm-m
40-60 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 2 Ohm-m hasta 3 Ohm-m
60-80 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 3 Ohm-m hasta 3.5 Ohm-m
80-100 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 3.5 Ohm-m hasta 3 Ohm-m
100-120 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 3 Ohm-m hasta 4 Ohm-m
120 metros -	capa de unos 4 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 300 metros de profundidad.

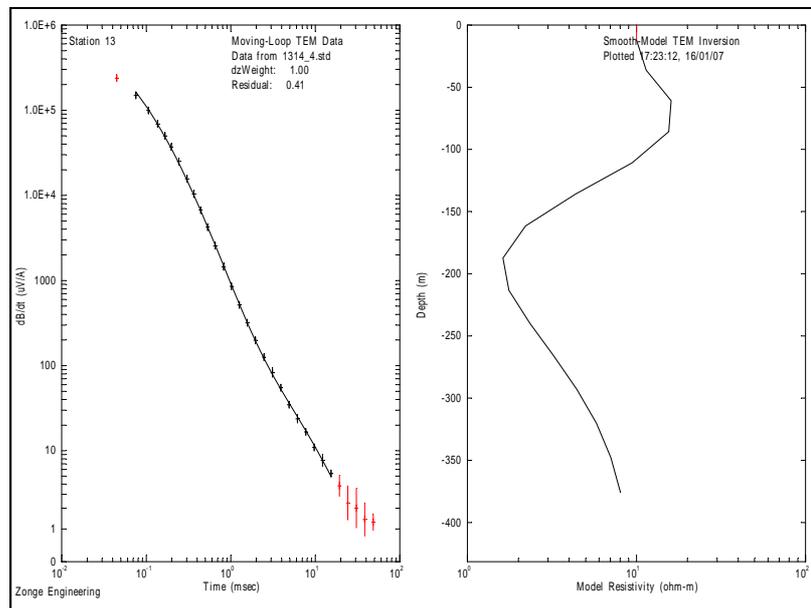
Este bucle también es muy conductivo ya que se encuentra muy cerca de la laguna.

ESTACIÓN 13

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 342885, 4112375



0-60 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 10 Ohm-m 20 Ohm-m
60-80 metros	capa de unos 20 Ohm-m
80-160 metros	capa o conjunto de capas que varían 20 Ohm-m hasta 2 Ohm-m
160-220 metros	capa de unos 2 Ohm-m
220 metros -	capa con tendencia al aumento de la resistividad.

Hay datos limpios hasta unos 350 metros de profundidad.

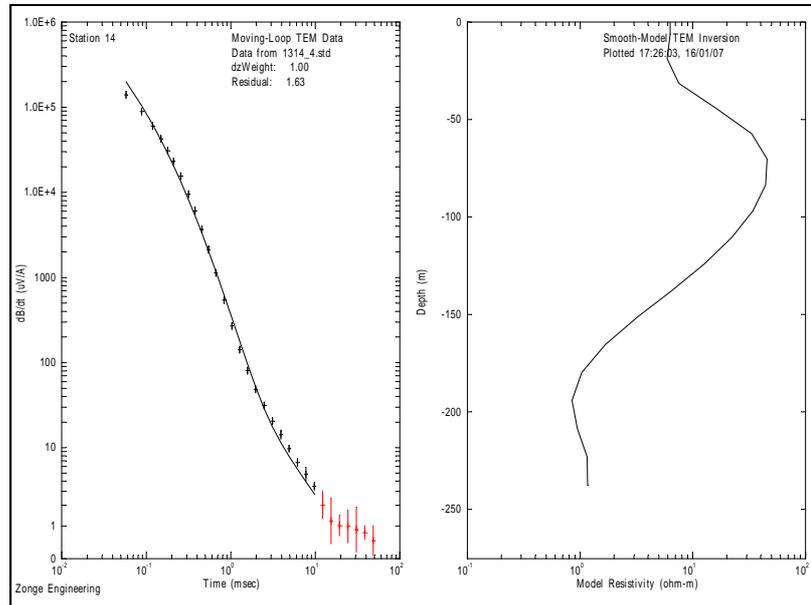
Al ser un medio más resistivo que las medidas tomadas sobre la laguna, con el mismo tamaño de bucle emisor se llega a más profundidad.

ESTACIÓN 14

Bucle: 50X50

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 344355 4106045



0-30 metros	capa de unos 6 Ohm-m
30-60 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 6 Ohm-m hasta 40 Ohm-m
60-80 metros	capa de unos 40 Ohm-m
80-180 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 40 Ohm-m hasta 1 Ohm-m
180 metros -	capa de unos 1 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 230 metros de profundidad.

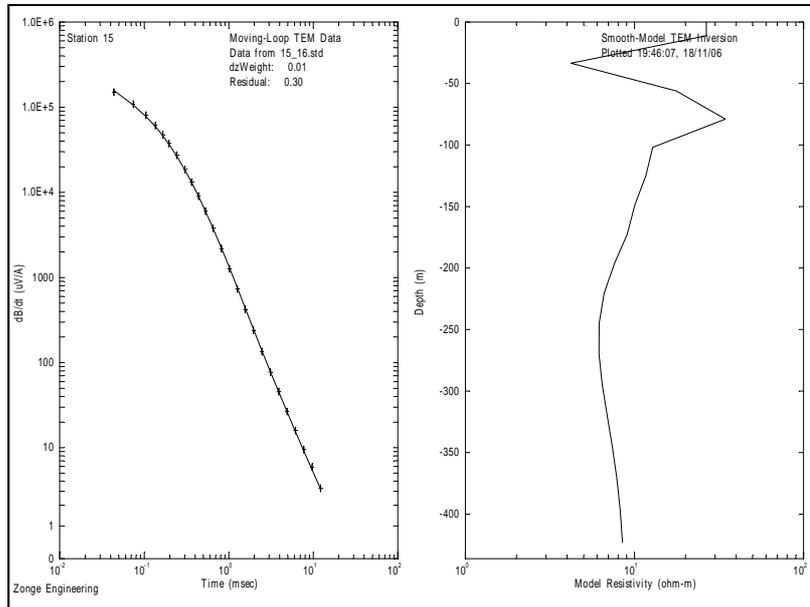
Bucle muy similar al bucle anterior.

ESTACIÓN 15

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 16Hz

Coordenadas: 347250 4114500



0-30 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 25 Ohm-m hasta 4 Ohm-m
30-50 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 4 Ohm-m hasta 20 Ohm-m
50-75 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 20 Ohm-m hasta 35 Ohm-m
75-100 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 35 Ohm-m hasta 10 Ohm-m
100-200 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 10 Ohm-m hasta 7 Ohm-m
200 metros -	capa de unos 7 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 400 metros de profundidad.

De nuevo con el mismo tamaño de bucle llegamos a bastante más profundidad que en la laguna.

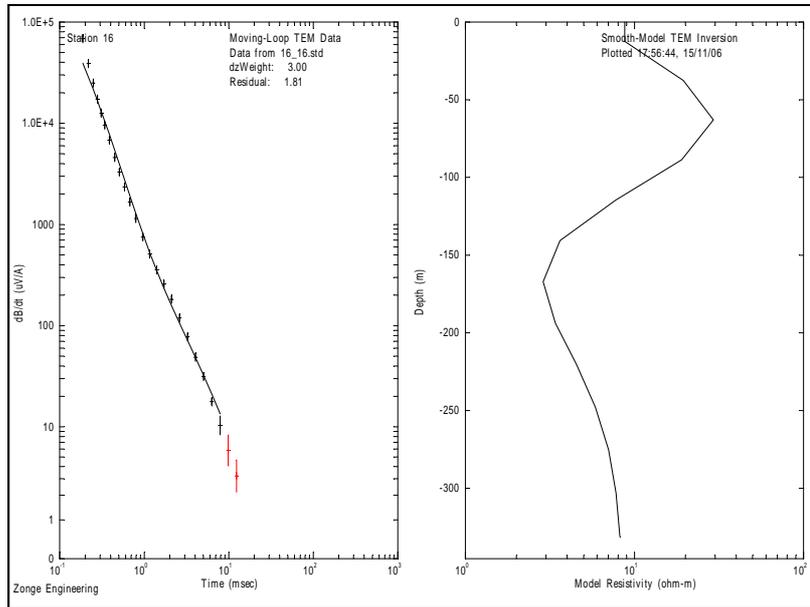
ESTACIÓN 16

Bucle: 100X100

Frecuencia de Emisión: 16Hz

Coordenadas: 350400 4110150

Observaciones: Una línea de alta tensión se encuentra a unos 100m de la antena receptora y otra de baja cruza el bucle.



0-40 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 9 Ohm-m hasta 20 Ohm-m
40-60 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 20 Ohm-m hasta 30 Ohm-m
60-90 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 30 Ohm-m hasta 20 Ohm-m
90-140 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 20 Ohm-m hasta 3 Ohm-m
140-190 metros	capa de unos 3 Ohm-m.
190 metros -	capa con ligera tendencia al aumento de la resistividad.

Hay datos limpios hasta unos 300 metros de profundidad.

De nuevo un bucle muy similar a los primeros de esta segundo tipo de medidas.

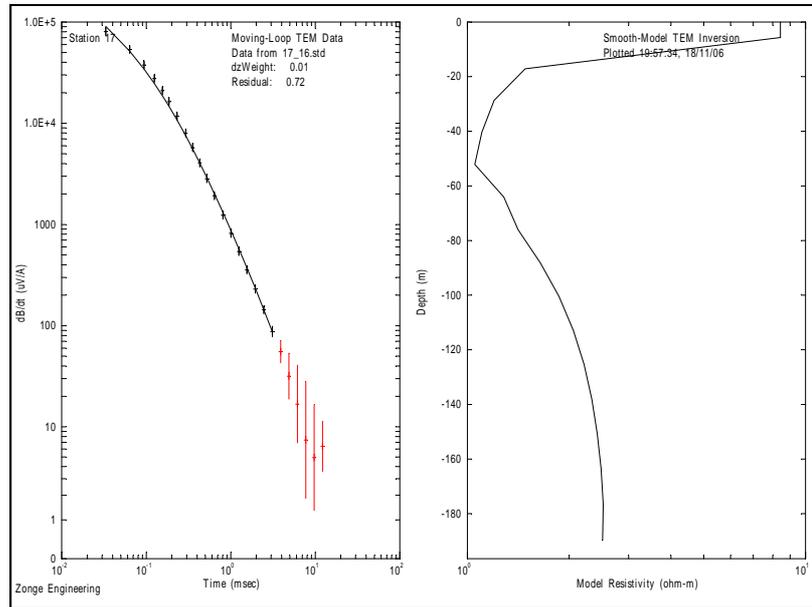
ESTACIÓN 17

Bucle: 50X50

Frecuencia de Emisión: 16Hz

Coordenadas: 348200 4117200

Observaciones: Se modifica la posición propuesta unos 100m en x por la cercanía de las vías del tren.



0-20 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 8 Ohm-m hasta 1.5 Ohm-m
20-30 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 1.5 Ohm-m hasta 1 Ohm-m
30-50 metros	capa de 1 Ohm-m.
50-140 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 1 Ohm-m hasta 2.5 Ohm-m
140 metros -	capa de unos 2.5 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 180 metros de profundidad.

En este bucle se llega a menor profundidad debido a que el medio es mucho más conductivo.

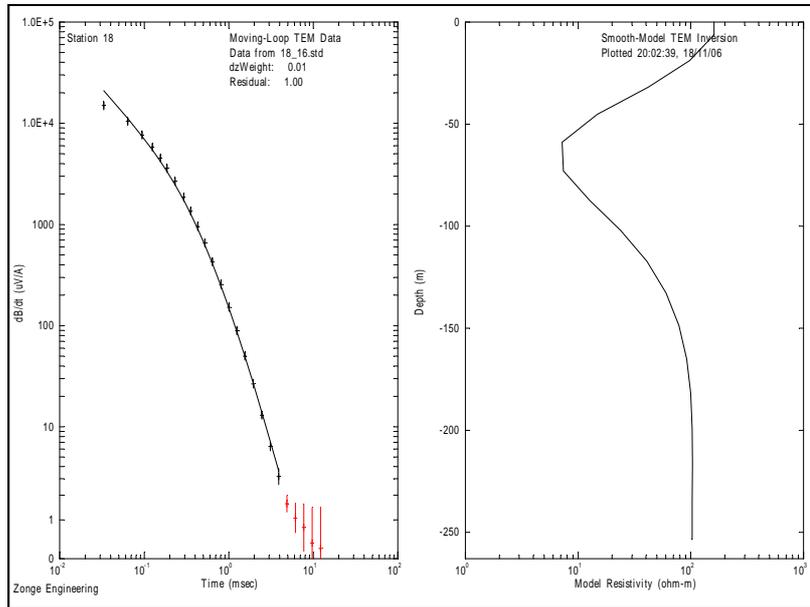
ESTACIÓN 18

Bucle: 50X50

Frecuencia de Emisión: 16Hz

Coordenadas: 352700 4112750

Observaciones: Una línea de alta tensión se encuentra a unos 100m de la antena receptora.



- 0-60 metros capa o conjunto de capas que varían desde 150 Ohm-m hasta 6 Ohm-m
- 60-70 metros capa de unos 6 Ohm-m.
- 70-150 metros capa o conjunto de capas que varían desde 6 Ohm-m hasta 100 Ohm-m
- 150 metros - capa de unos 100 Ohm-m.

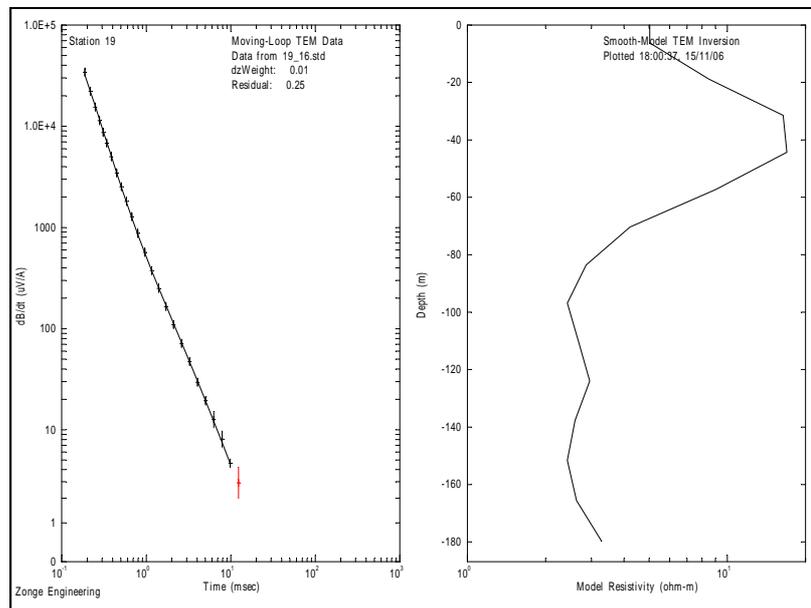
Hay datos limpios hasta unos 250 metros de profundidad.
 Este es el bucle más resistivo de este bloque de medidas.

ESTACIÓN 19

Bucle: 50X50

Frecuencia de Emisión: 16Hz

Coordenadas: 346200 4106400



0-30 metros	capa o conjunto de capas que varían 4.5 Ohm-m hasta 15 Ohm-m
30-50 metros	capa de unos 15 Ohm-m
50-80 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 15 Ohm-m hasta 3 Ohm-m
80 metros -	capa de unos 3 Ohm-m.

Hay datos limpios hasta unos 170 metros de profundidad.

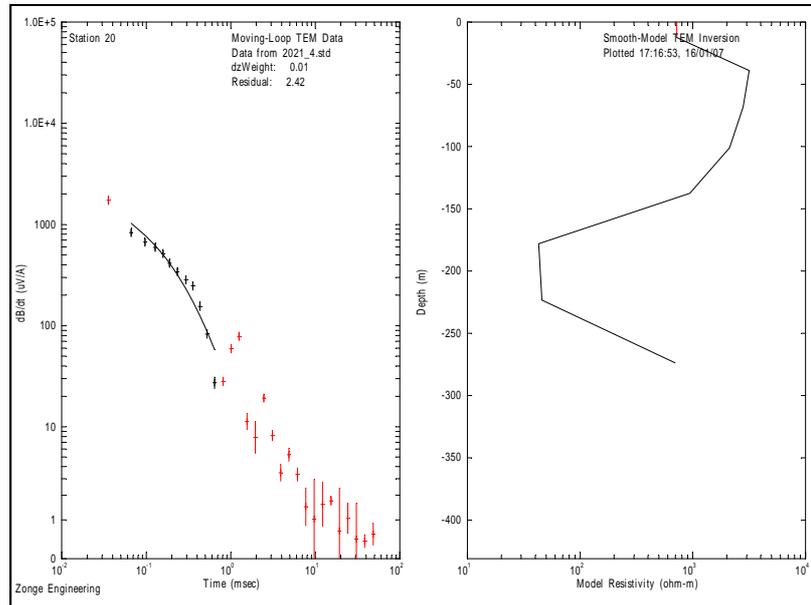
3.- Medidas Electromagnéticas en dos de las Sierras que la rodean.

ESTACIÓN 20

Bucle: 200X200

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 348665, 4107805



0-40 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 700 Ohm-m hasta 3000 Ohm-m
40-100 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 3000 Ohm-m hasta 2000 Ohm-m
100-140 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 2000 Ohm-m hasta 900 Ohm-m
140-175 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 900 Ohm-m hasta 50 Ohm-m
175-230 metros	capa de unos 50 Ohm-m
230 metros -	capa con tendencia al aumento de la resistividad.

Hay datos limpios hasta unos 270 metros de profundidad.

Estación con mucho ruido. No se encuentra en el campo ninguna razón para explicarlo, pero esta estación se repite varias veces, incluso se varía un poco la posición y en todos los casos sale con mucho ruido. Se presenta la estación más limpia.

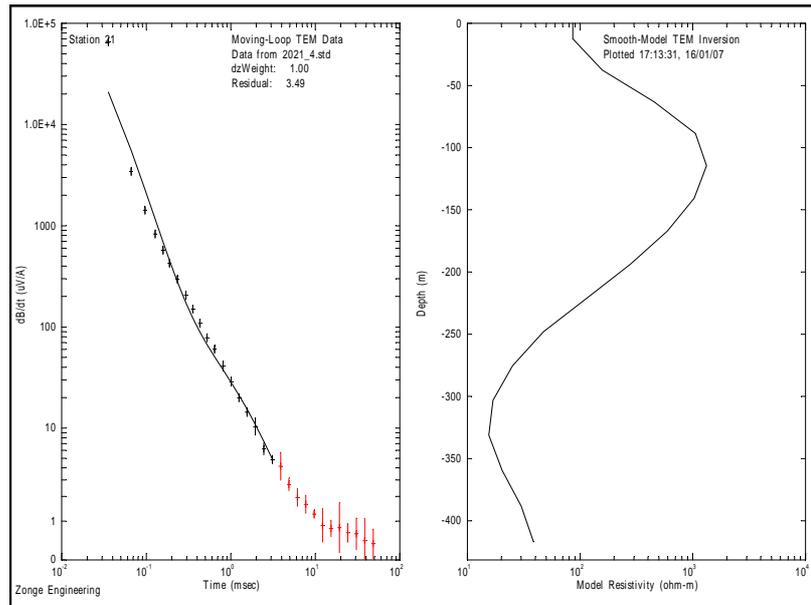


ESTACIÓN 21

Bucle: 200X200

Frecuencia de Emisión: 4Hz

Coordenadas: 352872, 4114395



0-90 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 90 Ohm-m hasta 1000Ohm-m
90-150 metros	capa de unos 1000 Ohm-m
150-300 metros	capa o conjunto de capas que varían desde 1000 Ohm-m hasta 200Ohm-m
300-340 metros	capa de unos 20 Ohm-m
340 metros -	capa con tendencia al aumento de la resistividad.

Hay datos limpios hasta unos 400 metros de profundidad.

Como vemos el medio es mucho más resistivo, y las resistividades son muy similares entre los bucles 20 y 21. Esta es la razón por la que damos por válida la interpretación del bucle 20, aunque tenga bastante ruido.



APÉNDICE A: Breve explicación del método



El SEDT (Sondeos Electromagnéticos en el Dominio de Tiempo) es un método electromagnético en el dominio de tiempos, esto quiere decir que se mide en diferentes ventanas o aperturas de la antena en el tiempo. El equipo necesario consiste en un transmisor que inyecta corriente en un bucle (una antena hecha con un cuadrado de cable) de distintas dimensiones (dependiendo de la profundidad a la que se quiere llegar en el estudio, el área a cubrir y los niveles de ruido ambiental) y un receptor (una antena).

La corriente que se inyecta en el bucle es una corriente en forma de ciclo alternando la polaridad. Las medidas en el receptor se miden durante el tiempo en que no se esta inyectando corriente, de forma que solo están presentes los campos secundarios. Se crea un campo magnético por la inyección de corriente en el bucle, y durante el tiempo en que no hay corriente se mide con la antena receptora el voltaje generado por la difusión de la energía inducida.

Normalmente los intervalos de tiempo de caída en que no se inyecta corriente varían desde 30 microsegundos a cientos de milisegundos para exploraciones profundas.

Es fundamental sincronizar el transmisor y el receptor, para realmente medir solo en los intervalos de tiempo en que no se esta inyectando corriente en el bucle.

La topografía del terreno si es abrupta puede afectar negativamente a las medidas, ya que se asume que el bucle transmisor y la antena receptora se sitúan sobre superficies paralelas. En este estudio la topografía es bastante llana en casi todos los casos, por lo que solo en el caso de las sierras tenemos este problema.

La configuración de campo que se utilice va a variar los resultados finales de las medidas tomadas en el campo. En este caso se utilizaron bucles como transmisores de 50mx50m, 100mx100m y 200mx200m.



APÉNDICE B: Instrumentación

ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS. ZONGE ENGINEERING AND RESEARCH ORGANIZATION

RECEPTOR MULTIFUNCIÓN GDP-32^{II}.

El ZONGE GDP-32II es la cuarta generación de receptores GDP de la marca ZONGE ENGINEERING AND RESEARCH ORGANIZATION. Es un receptor multicanal en el dominio de tiempos o frecuencias para campos eléctricos y magnéticos de fuente natural o controlada.



Figura 15. Receptor de Zonge (GPD32)

Para la sincronización temporal emplea un sistema de oscilador de cuarzo de alta precisión con reloj que mantiene unos tiempos muy estables de referencia con rangos de deriva típica de menos de 5 $\mu\text{s/hr}$ (aproximadamente 0.03 mr/hr de deriva de fase en 1 Hz). Opcionalmente el oscilador puede incorporar un sistema global de posicionamiento (GPS) para reducir los errores temporales. Un reloj idéntico en un controlador de transmisor (XMT-32) puede ser sincronizado con uno o más receptores GDP y usado para conducir un transmisor, eliminando así la necesidad de una conexión física que proporcione la referencia de fase.



El receptor GDP-32II puede adquirir datos para más de 16 canales analógicos independientes. Cada señal de entrada está condicionada por la ganancia aplicada a la señal y por un circuito de filtrado, después del cuál es muestreado y convertido a formato digital. El receptor GDP-32II lleva incorporados programas que permiten al operador revisar los datos numérica y gráficamente en el campo. Un error medio (SEM) es calculado para cada medida así como la resistividad aparente para las distintas antenas y programas de adquisición. Las curvas de caída en el dominio de tiempos y el espectro en el dominio de frecuencias pueden visualizarse gráficamente. Así mismo se puede mostrar la barra de error para un conjunto de medidas repetidas.

Otras características del GDP-32II son:

Es un receptor duro y hermético transportable por un operador.

Posee un procesador de 66 MHz y 586 MPU (opcional hasta 133 MHz).

Es un sistema de banda ancha en el dominio de tiempos y de frecuencias ($0.001 \leq f \leq 8192$ Hz).

Al ser un sistema multifunción permite realizar distinto tipo de estudios: resistividad, PI en Dominio de Tiempos o de Frecuencias, Resistividad Compleja, MTAFC, MT/AMT, SEDT/nanoSEDT,...).

Permite un gran almacenamiento de datos, más de 4 GB de disco duro.

Sistema "Ethernet" para el volcado de datos (0.5 a 1.2 MB/sg).

Sistema de operación remota mediante el puerto serie.

Fuente de calibración interna con Programas que permiten la calibración de los datos.

Control automático de ganancia y de Potencial Espontáneo.

ANTENA TEM-3

Con los avances en los equipos receptores se ha hecho necesario el incremento en la calidad de los sensores para el campo magnético. ZONGE fabrica un completo rango de bobinas de inducción basadas en detectores de campo magnético adaptados a las condiciones de cada

aplicación. Poco ruido, poca potencia y estabilidad térmica son importantes objetivos para los sensores magnéticos aplicados a la exploración geofísica.

Alguna característica de la antena TEM-3 son:

$F_0 > 20 \text{ kHz}$

$\text{dB/dt respuesta } A_e = 10.000 \text{ m}^2$.



Figura 17. Antena TEM-3 de Zonge.

TRANSMISOR ZT-30

ZONGE ha desarrollado 4 transmisores que utilizan fuentes de corriente continua como fuentes primarias de energía (además de los transmisores GGT que utilizan un motor como generador). Tres de estos transmisores fueron desarrollados para estudios SEDT y el cuarto para estudios de PI o resistividad a pequeña escala.

El ZT-30 utiliza fuente corriente continua (24-120 V) generando corrientes que pueden superar los 30 A. Dos o más baterías de coche pueden conectarse en serie de forma que pueden utilizarse como fuente de energía para estudios SEDT con un transmisor ZT-30. El ZT-30 puede también utilizarse como transmisor para estudios de PI/resistividad que necesiten poca

energía en estudios en los que la intensidad no requiera ser regulada (PI en Dominio de Tiempos) o en los que la forma de la curva de corriente pueda ser medida directamente.

El ZT-30 es pequeño y de fácil transporte por una persona. Es un transmisor apropiado para estudios SEDT con objetivos a profundidades menores de 500 metros.



Figura 16. Transmisor ZT30 y controlados de corriente XMT.



APÉNDICE C: Modelos



Los modelos de inversión suavizados convierten los datos medidos (dB/dt) en perfiles de resistividad respecto a la profundidad. Los datos observados de tiempos y dB/dt se utilizan en cada estación para determinar el modelo de partida o inicial que es un modelo de capas horizontales.

El espesor de las capas se determina calculando la profundidad de penetración del campo fuente para cada ventana de tiempos. La resistividad de cada capa se ajusta iterativamente hasta que la diferencia entre el modelo y los datos observados se ajusta al error determinado, siempre que sea consistente con un contraste suavizado. El contraste suavizado limita la variación de resistividad entre las distintas capas.

Existen dos parámetros en los modelos que determinan el tipo de resultado, estos son el peso que se le da al modelo inicial y el peso que se le da al suavizado. El peso del modelo inicial puede variar entre 0.001 y 100, siendo los valores más altos los que calculan modelos más parecidos al modelo inicial y los más bajos al contrario.

Cuanto más alto es el peso del suavizado, menos contrastes son permitidos en el modelo., si el valor es muy bajo los cambios serán muy bruscos.

En todos los casos se debe jugar con estos parámetros para crear modelos con errores bajos pero reales geológicamente.

El resultado de un modelo de suavizado es un conjunto de resistividades estimadas que varían suavemente con la profundidad. La variación lateral es calculada invirtiendo sucesivamente las estaciones a lo largo de un perfil, en el caso en que se hayan medido las estaciones en línea. Los resultados para una línea completa se presentan en una pseudo-sección con los contornos de resistividades.



Para calcular los contornos se localiza por convenio, las resistividades en el punto medio de cada capa, formando una columna por debajo de cada estación.

Los modelos de suavizado no requieren modelos iniciales, estos se calculan a partir de los propios datos observados.

Los datos observados se preparan para la inversión con el programa TEMAVG, que lo que hace es cambiar el formato de los datos de volcado del receptor para que pueda ser leído por los programas de inversión de ZONGE. Todos los parámetros de la campaña, junto con los propios de los datos, pueden modificarse en el paso previo a la inversión, además de asociar los datos con sus coordenadas y borrar los datos de las ventanas de tiempos con ruido o mala repetibilidad.

Los modelos han sido creados por:

Scott MacInnes

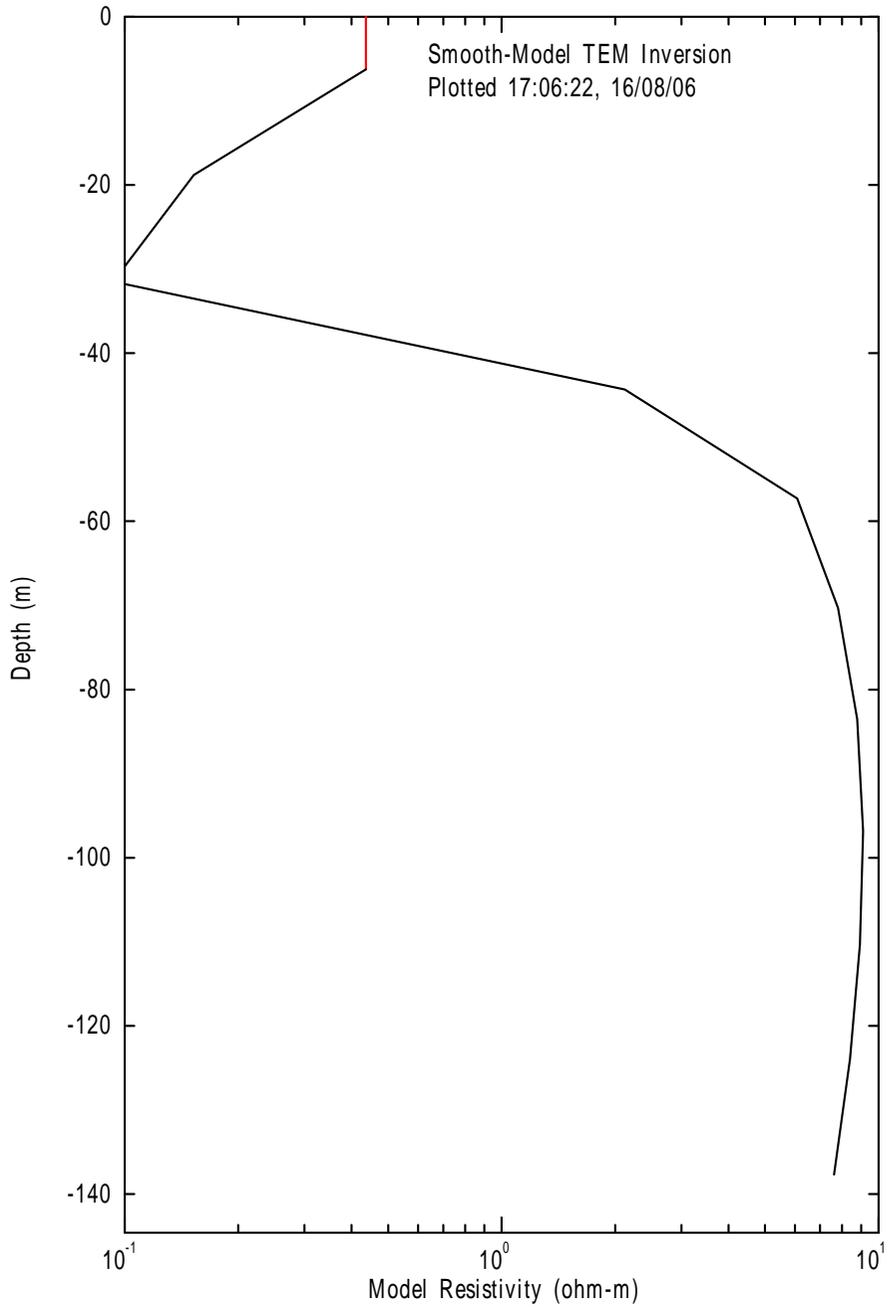
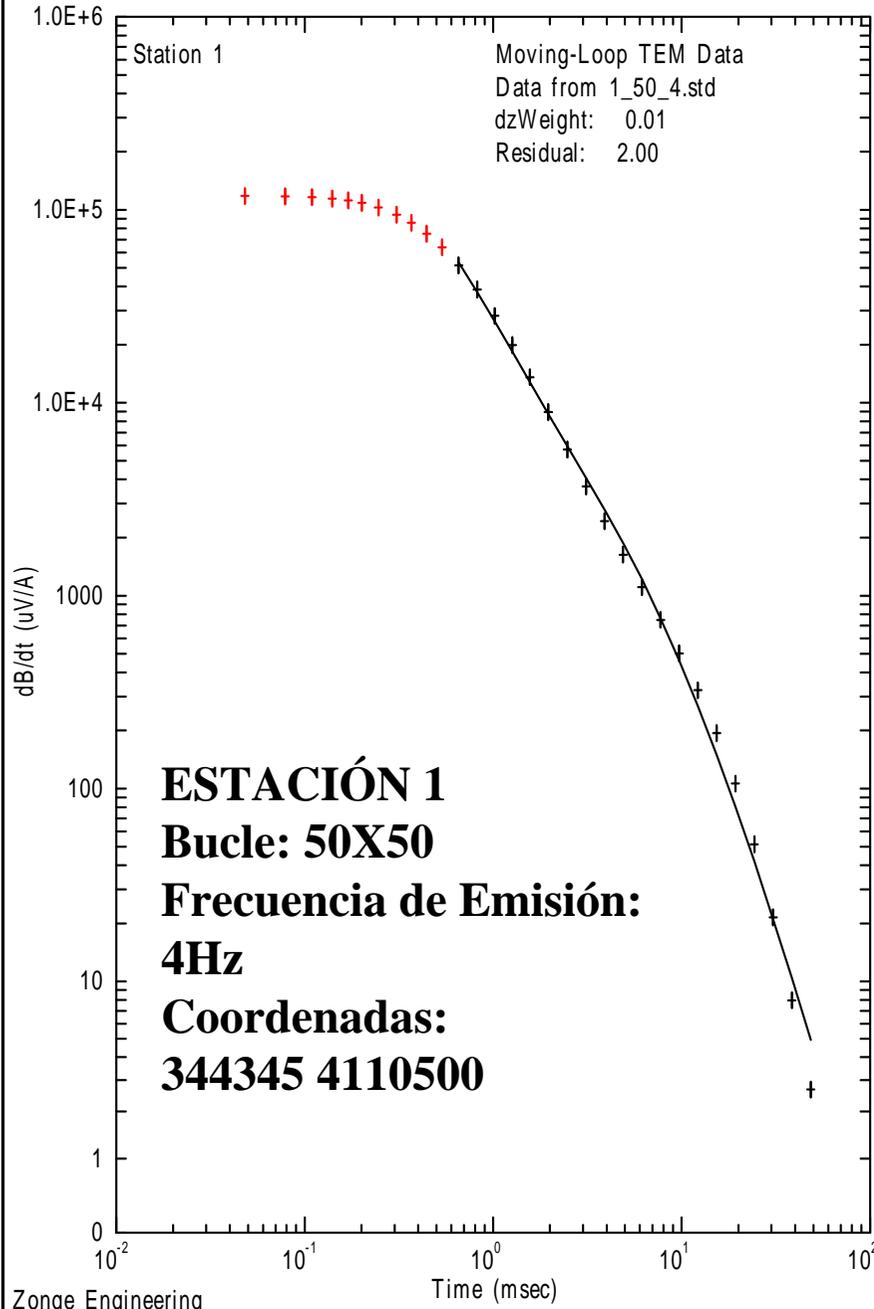
Mykle Raymond

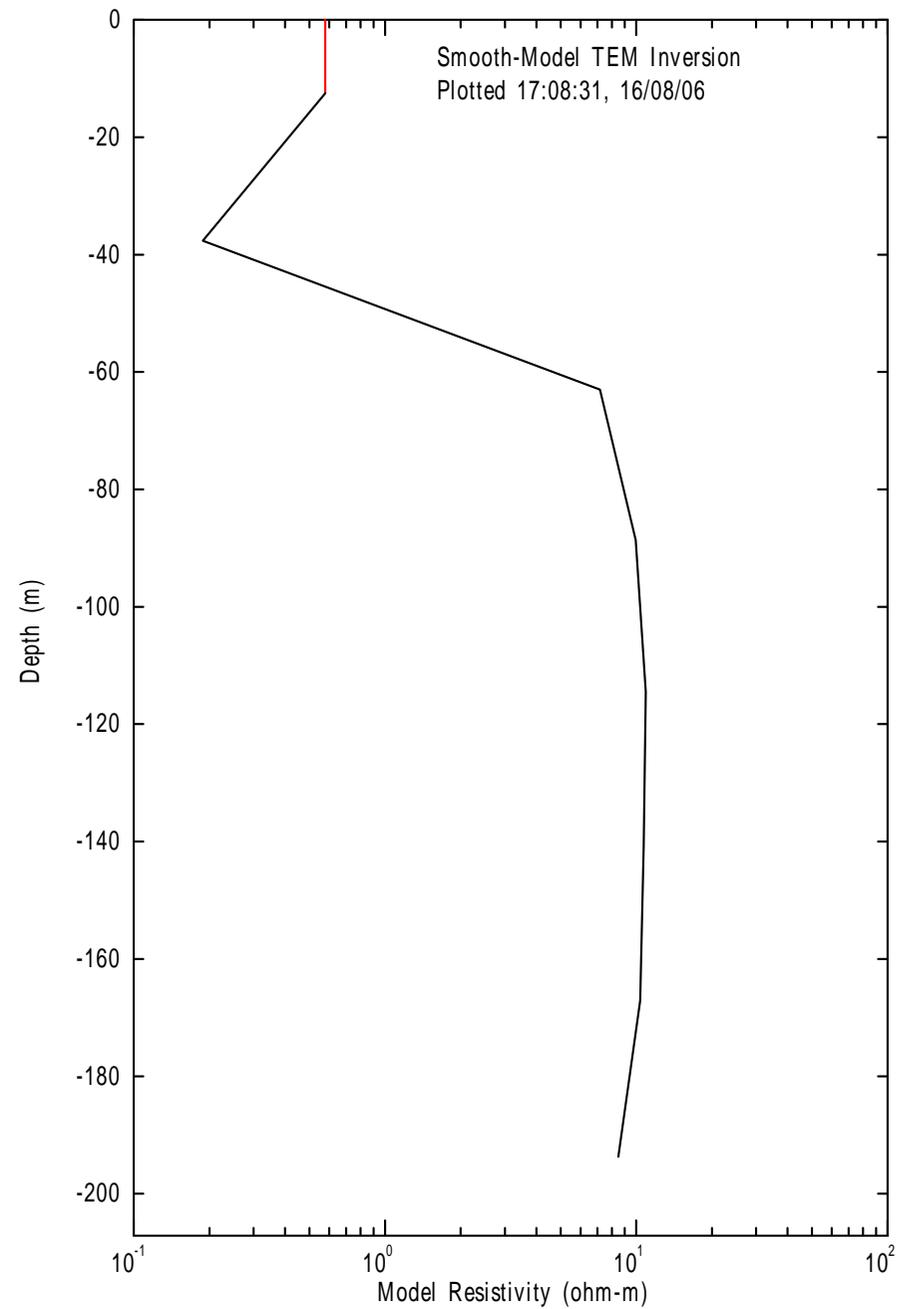
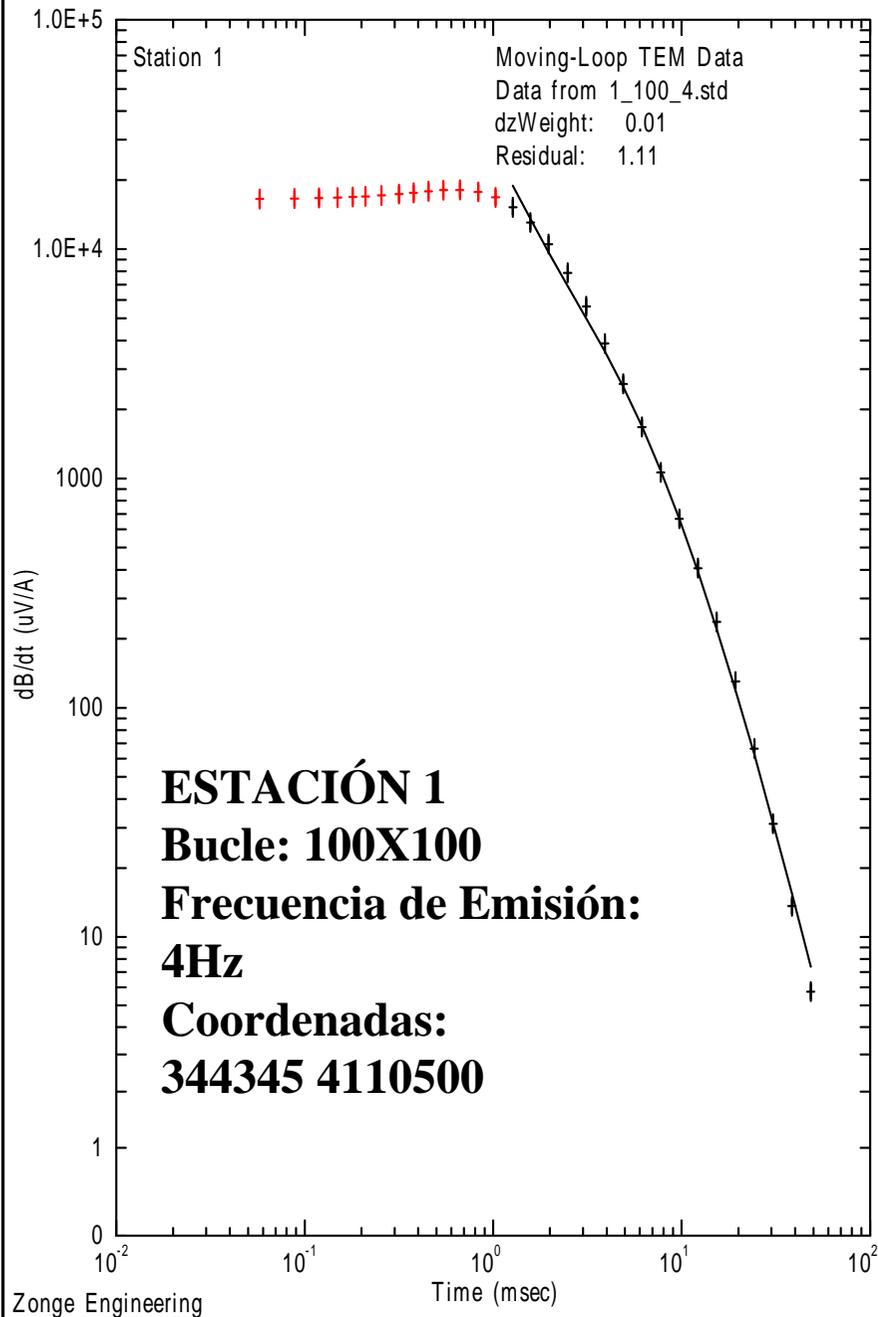
April 2001

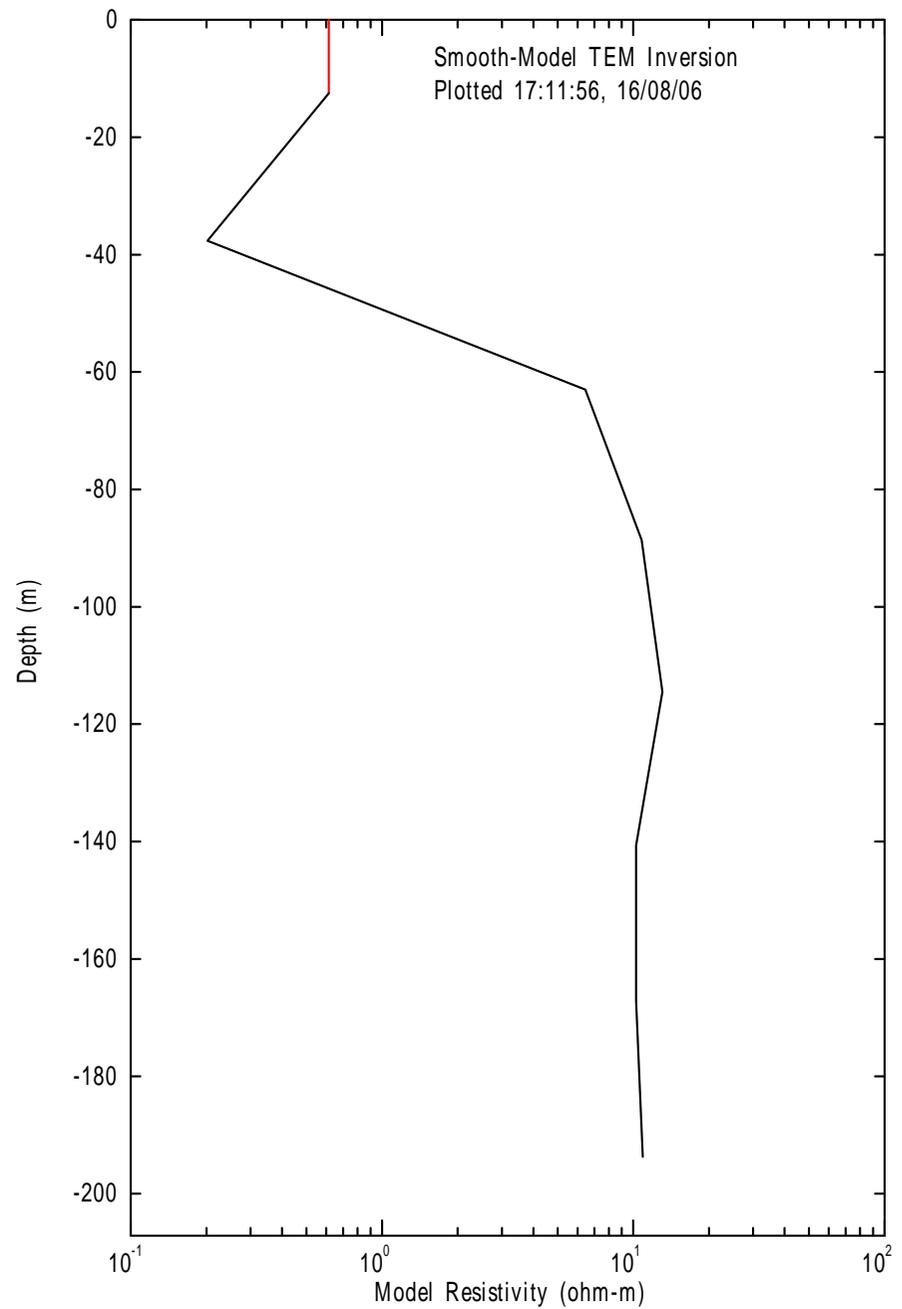
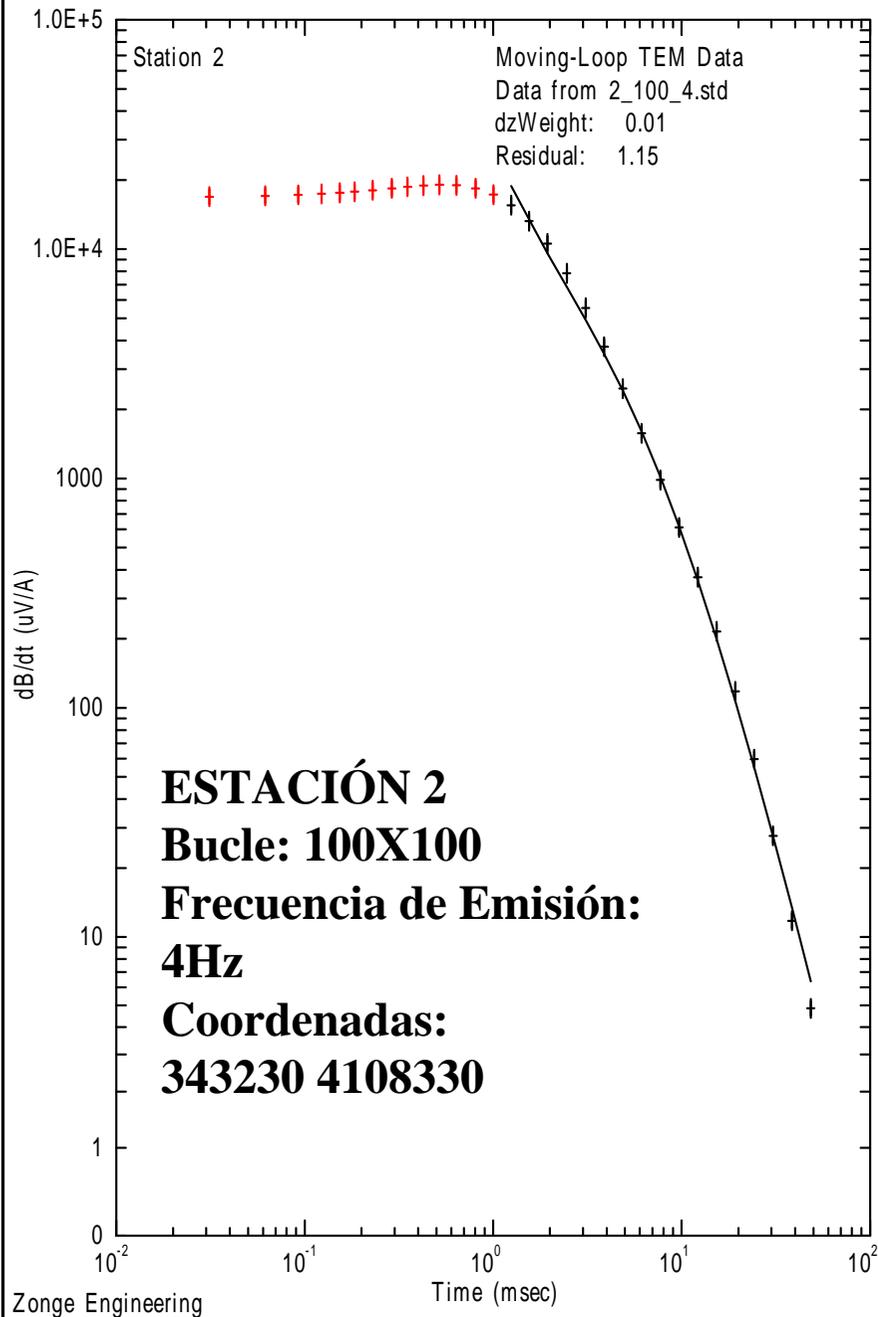
Zonge Engineering and Research Organization, Inc

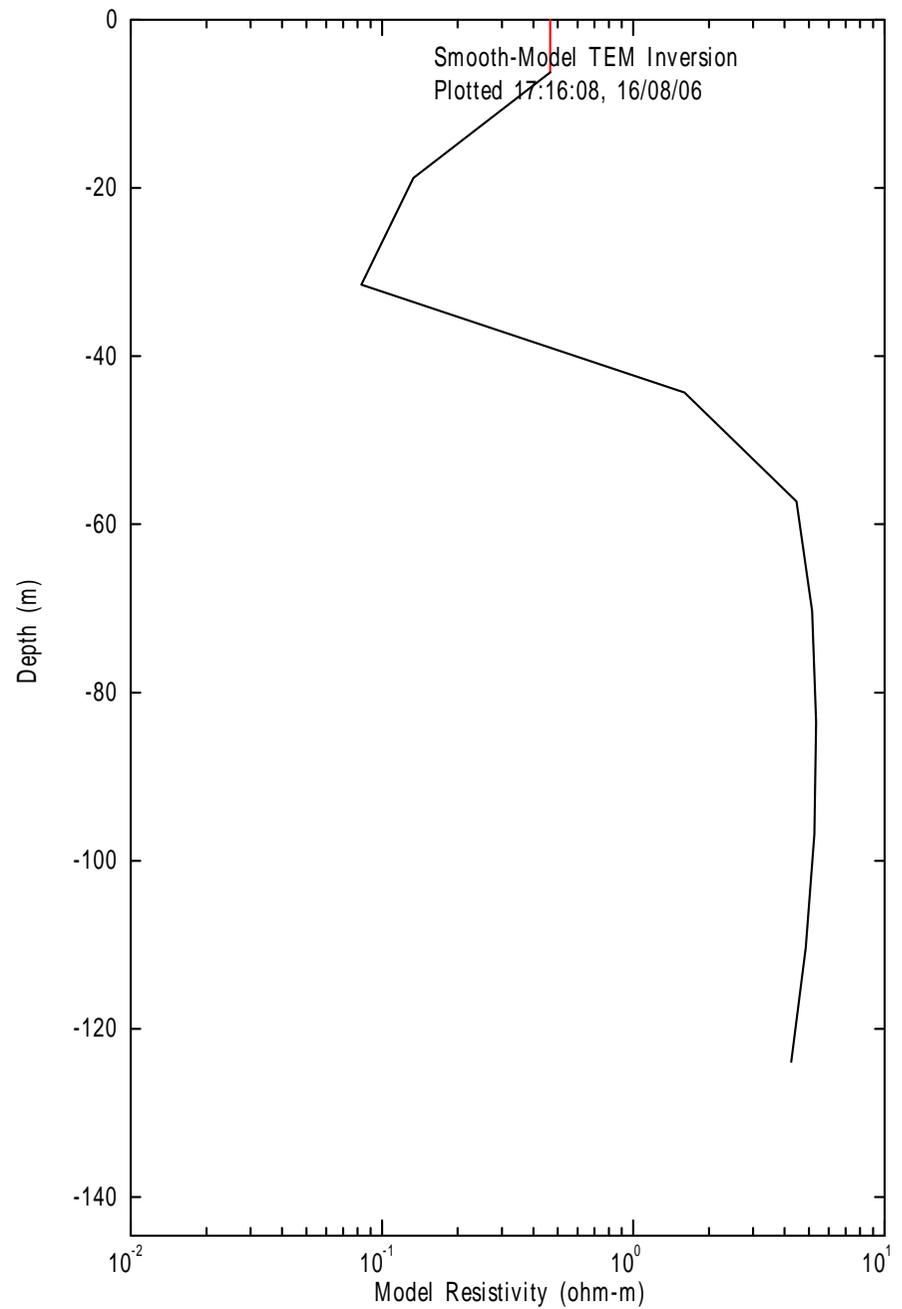
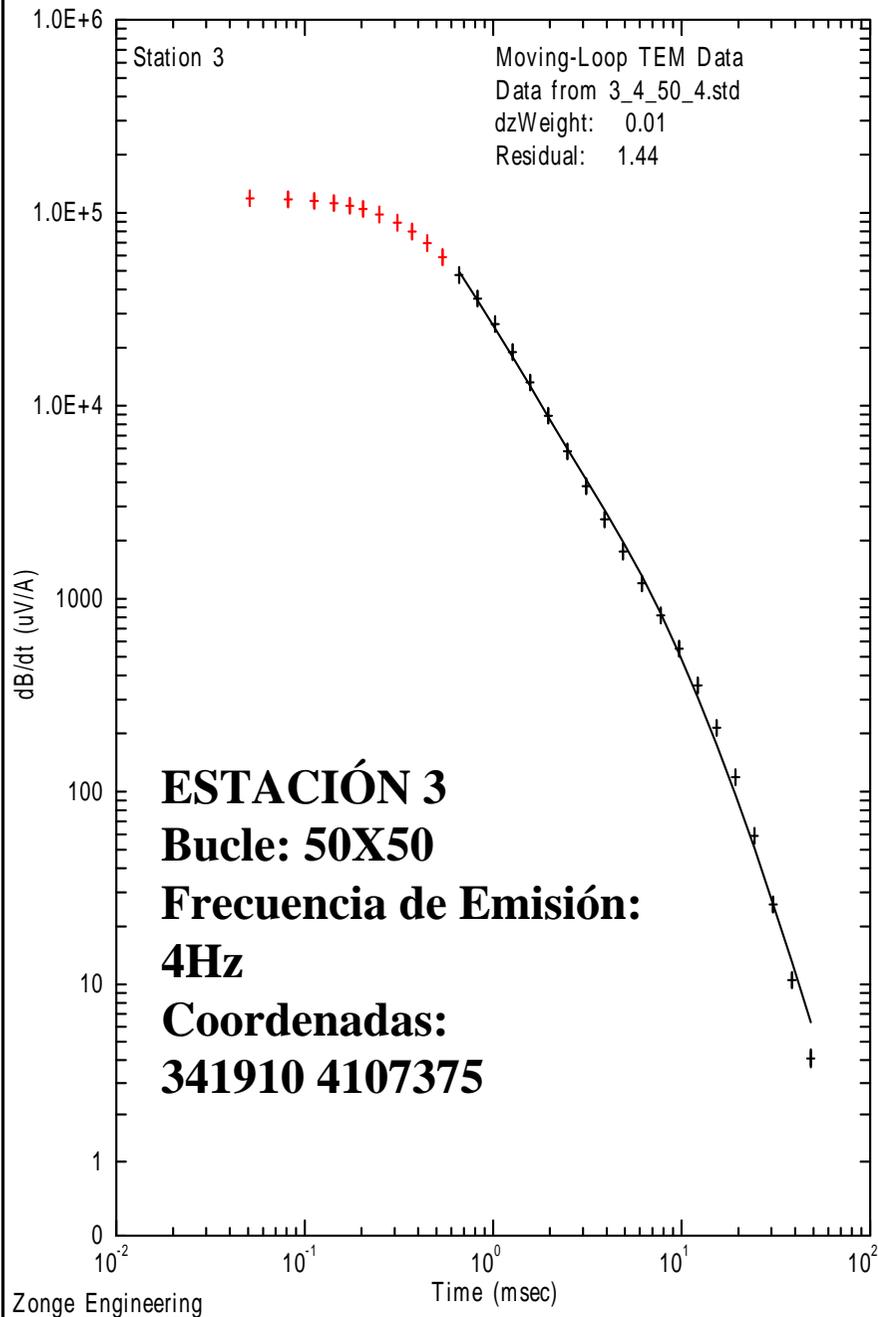


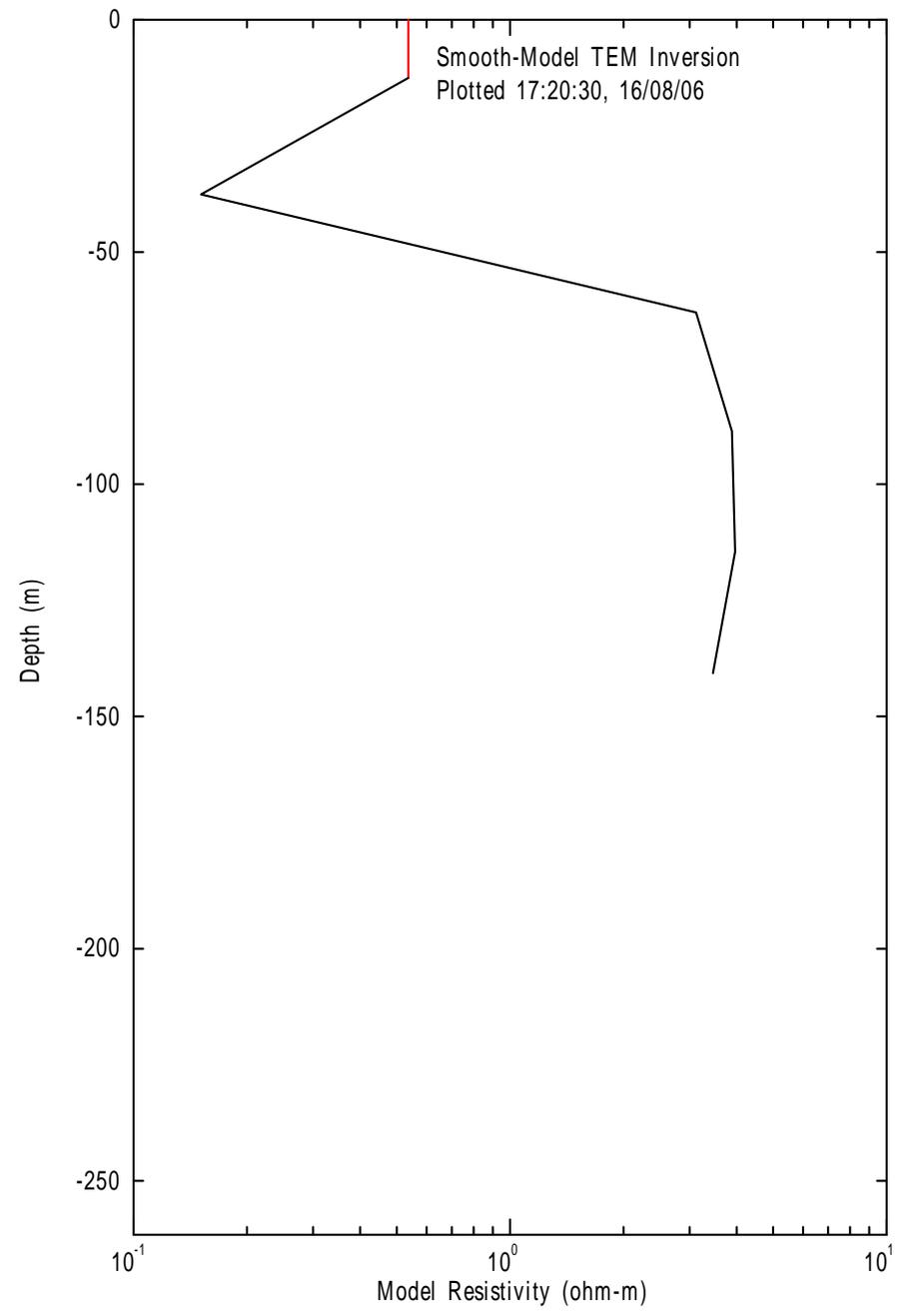
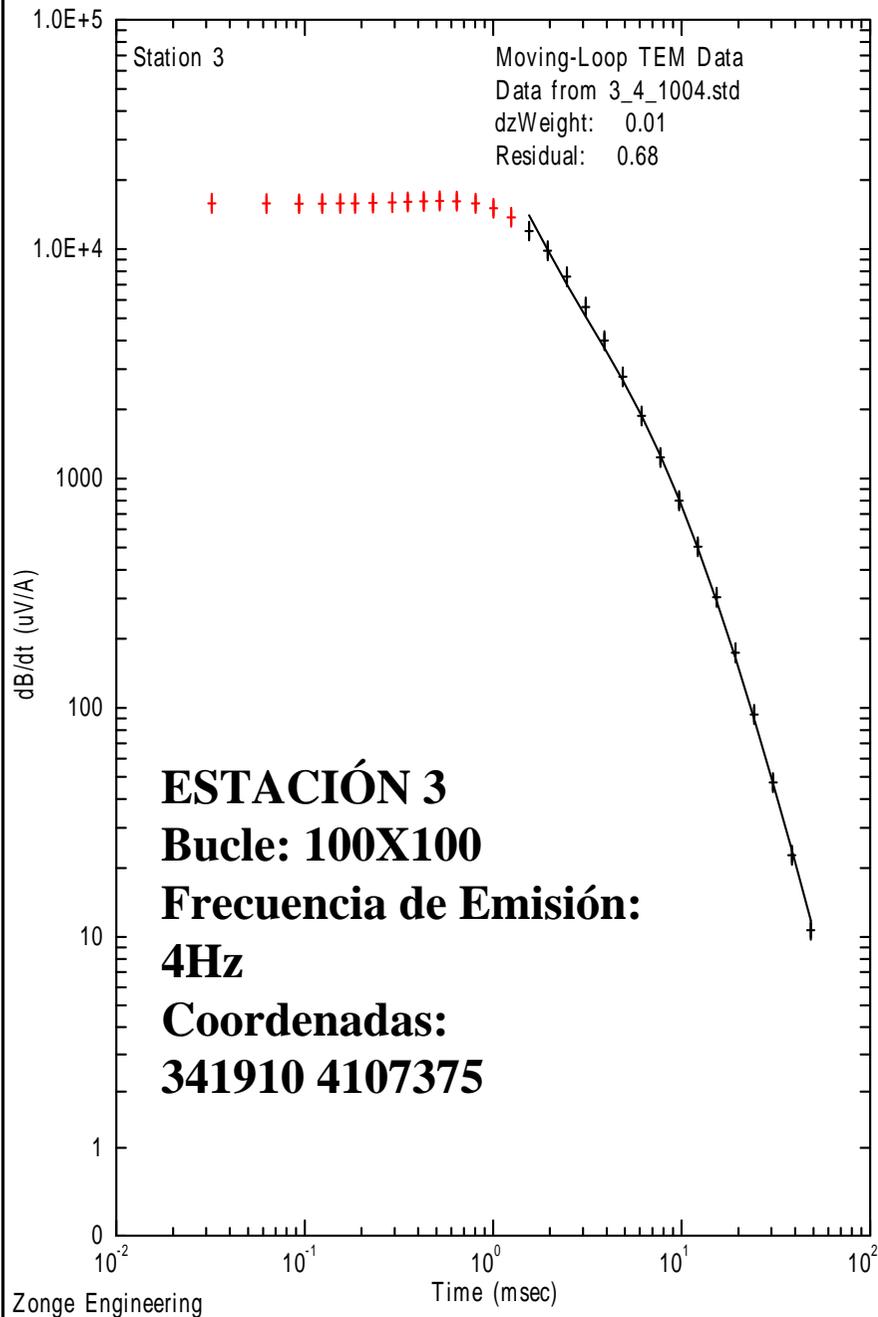
APÉNDICE D: Figuras

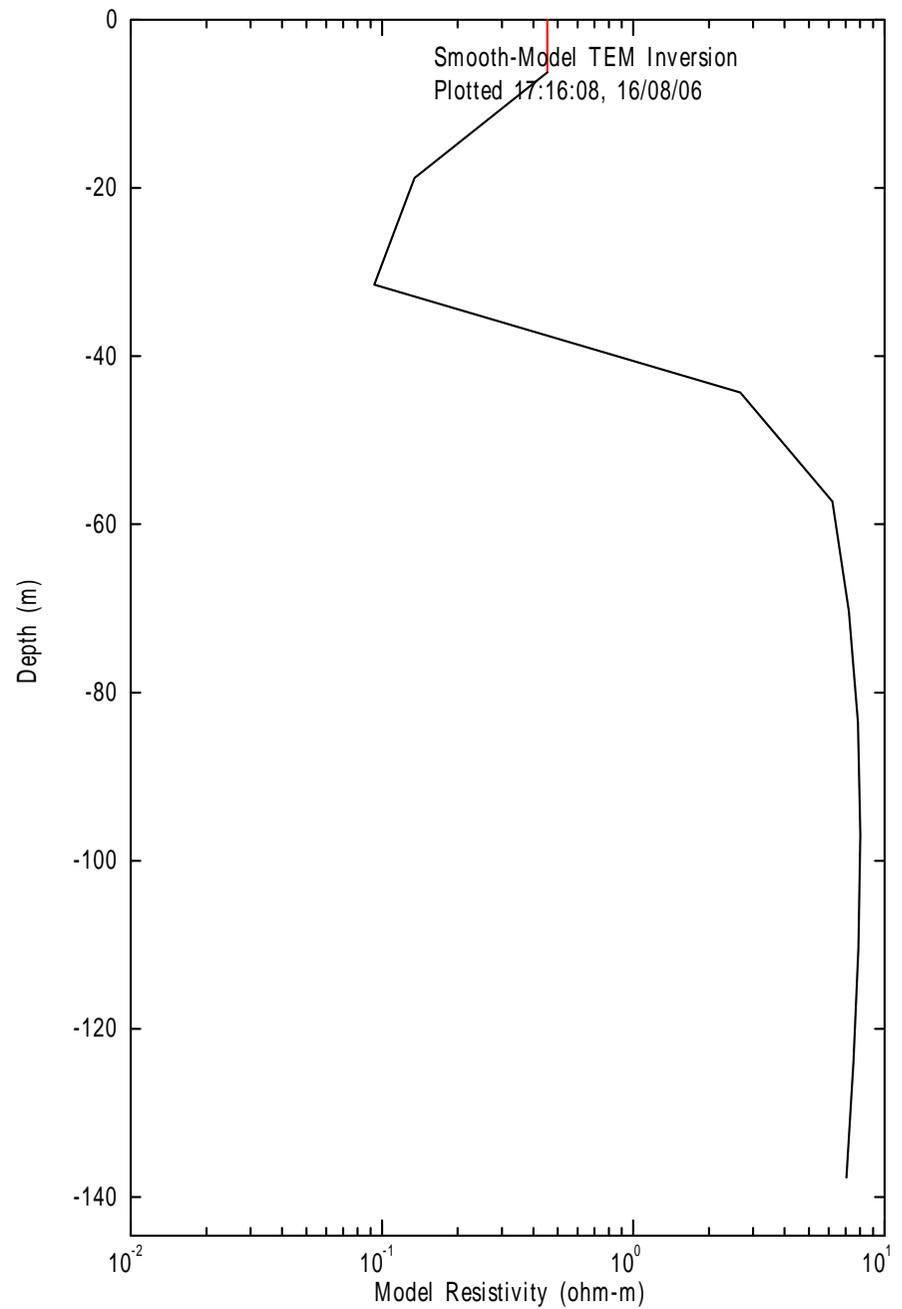
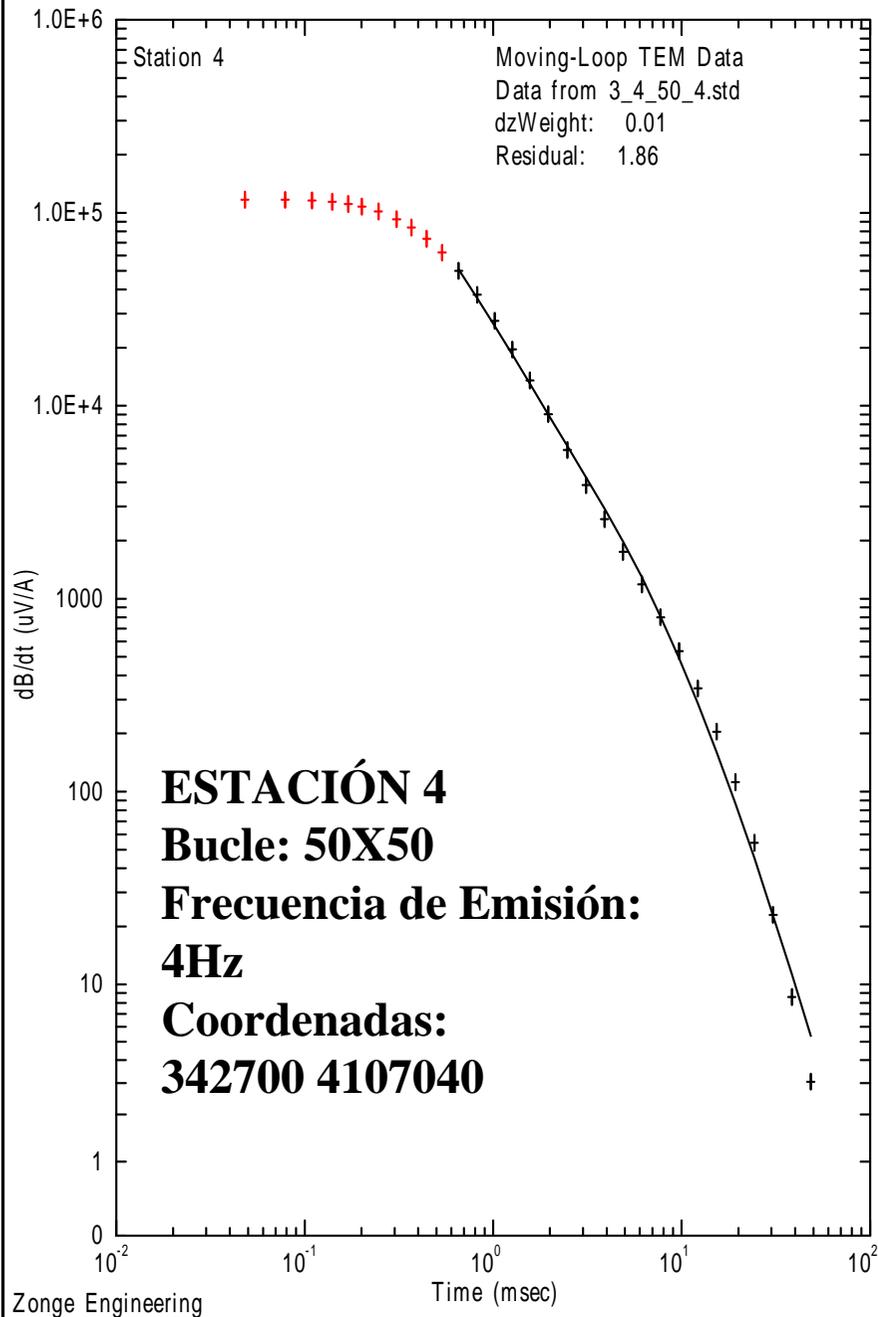


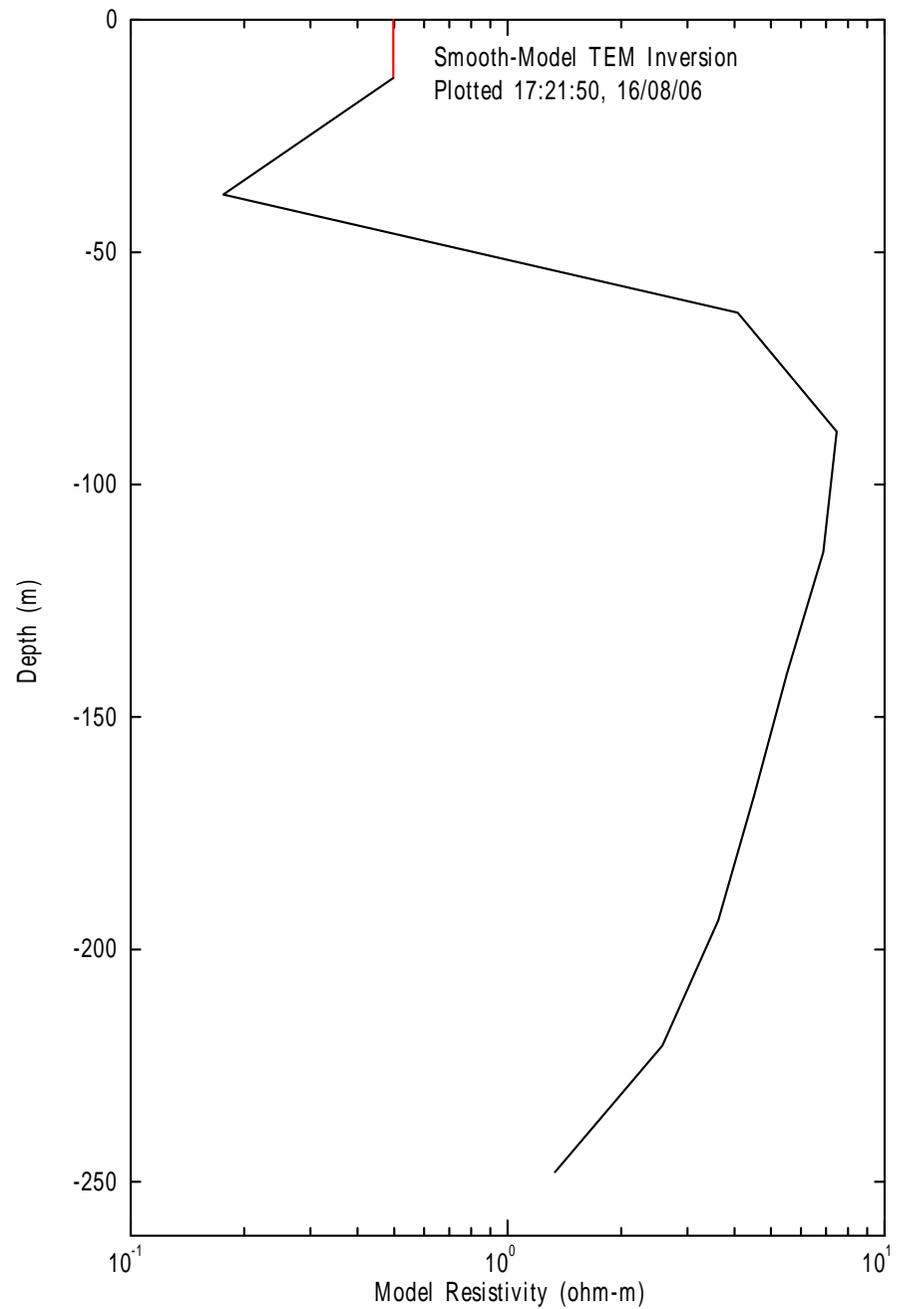
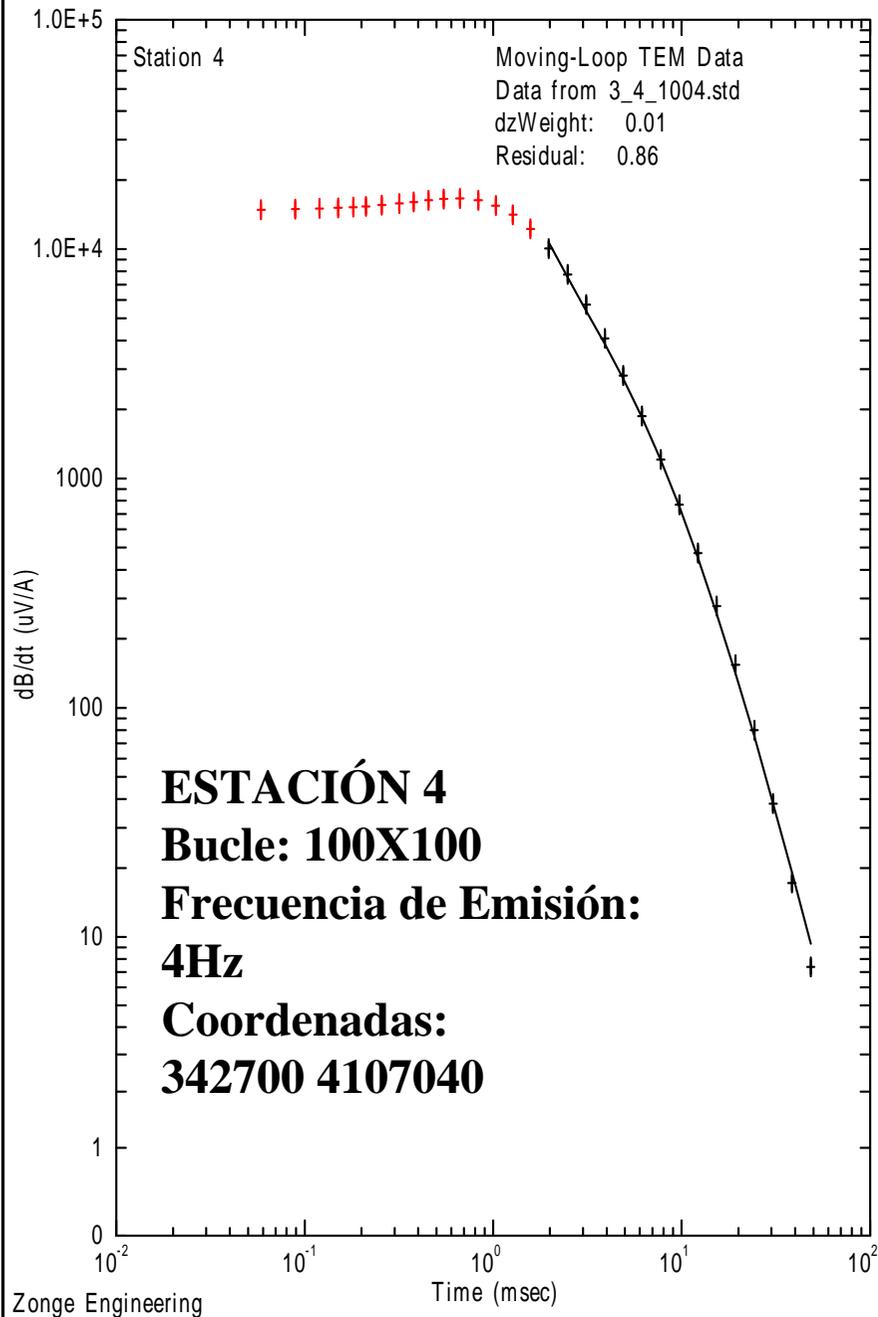


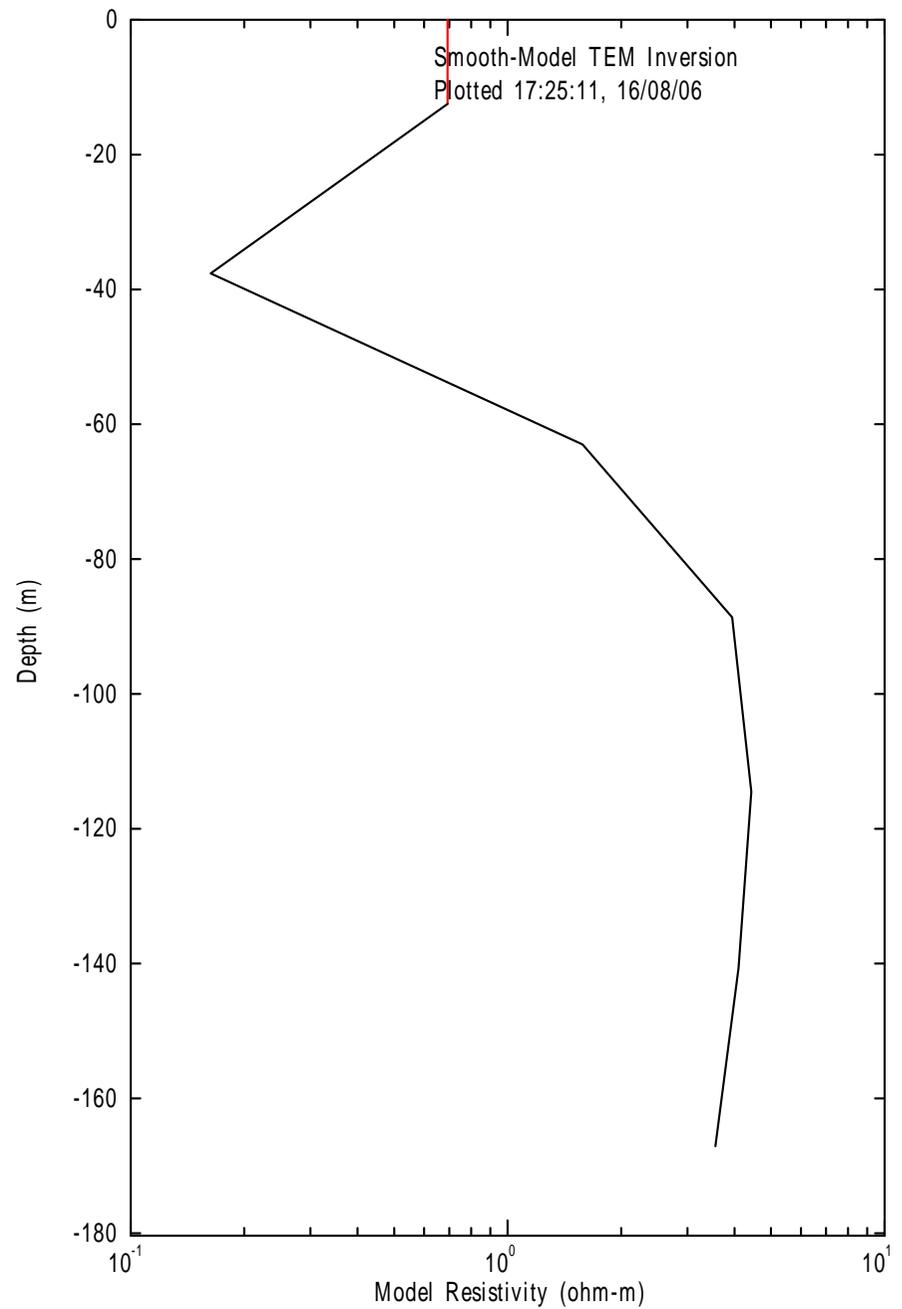
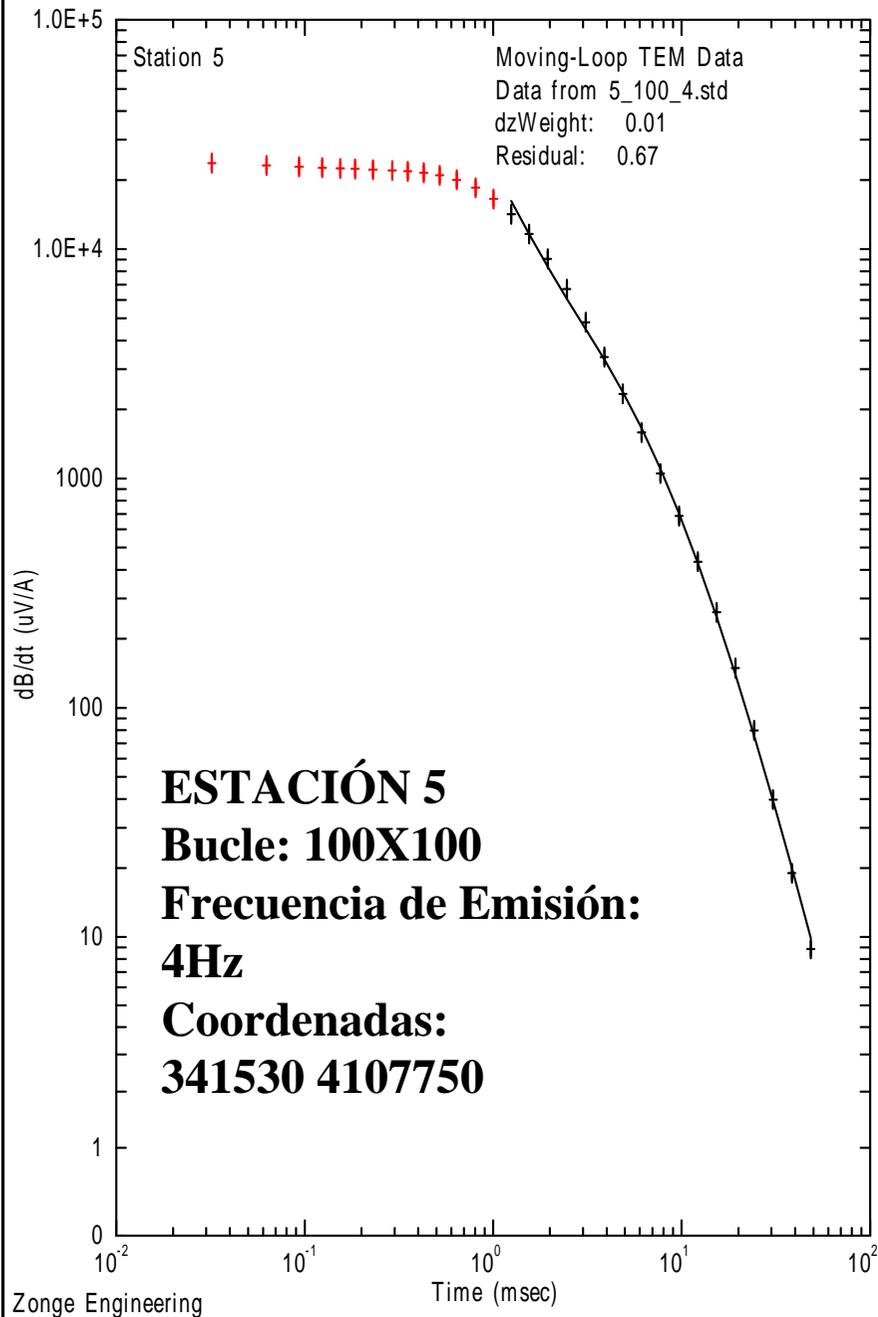


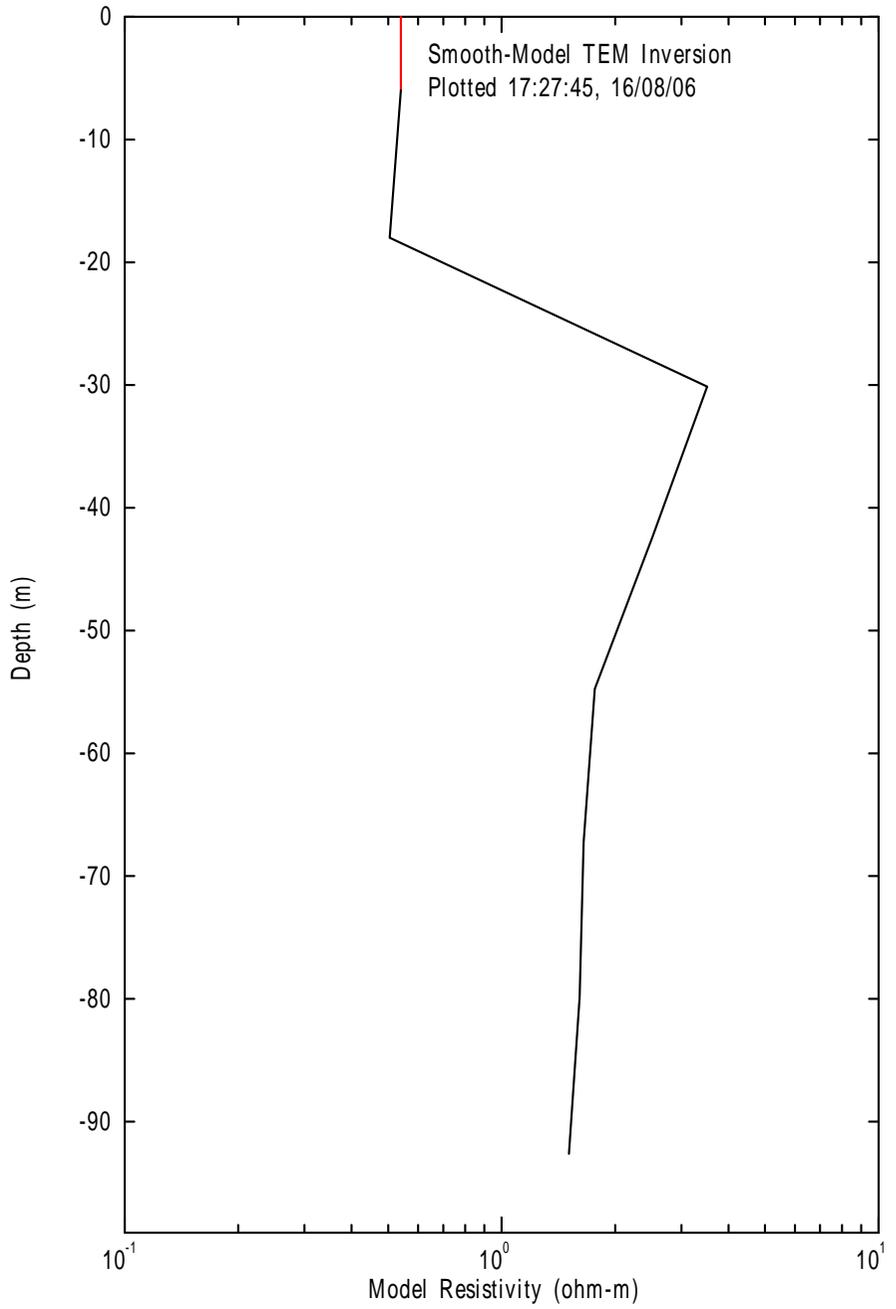
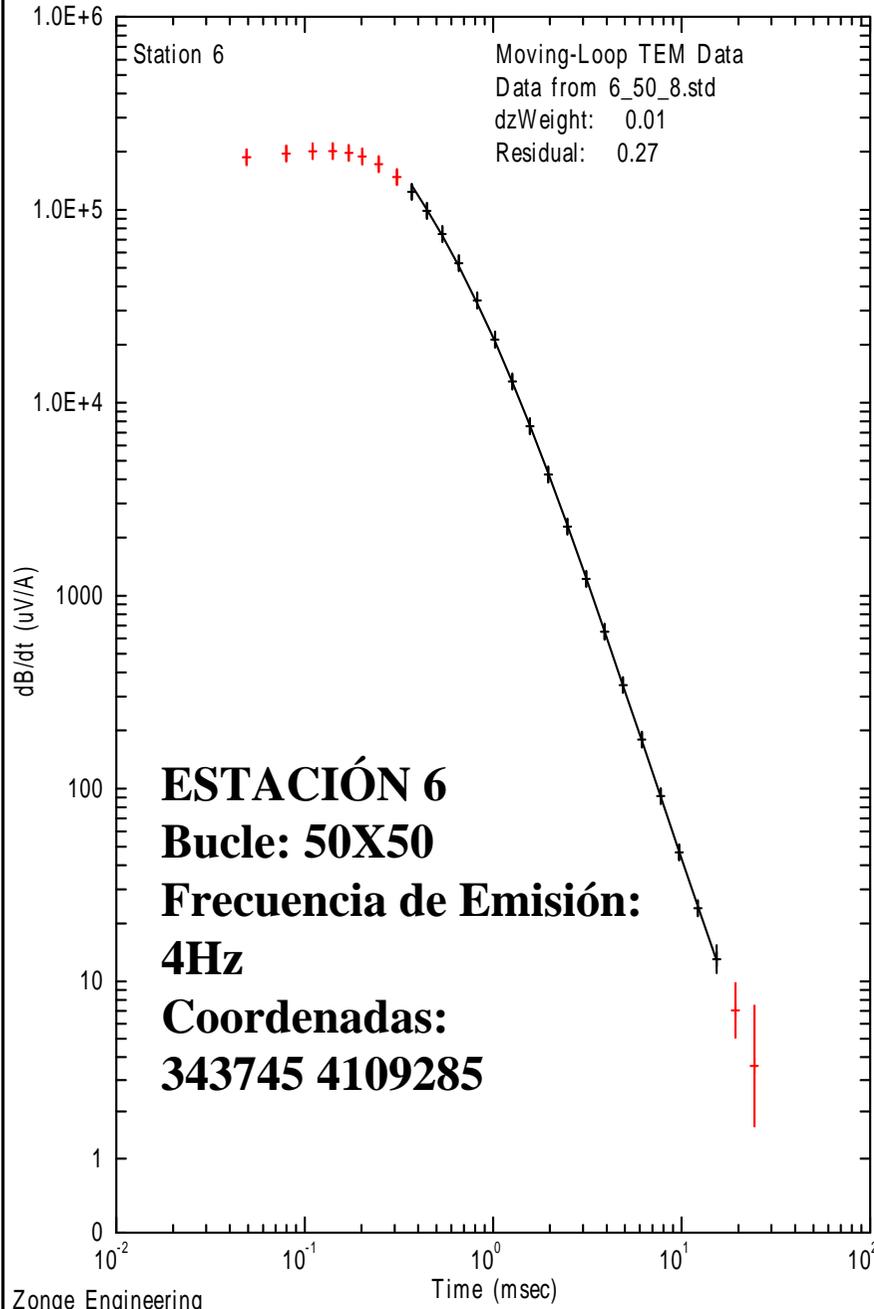


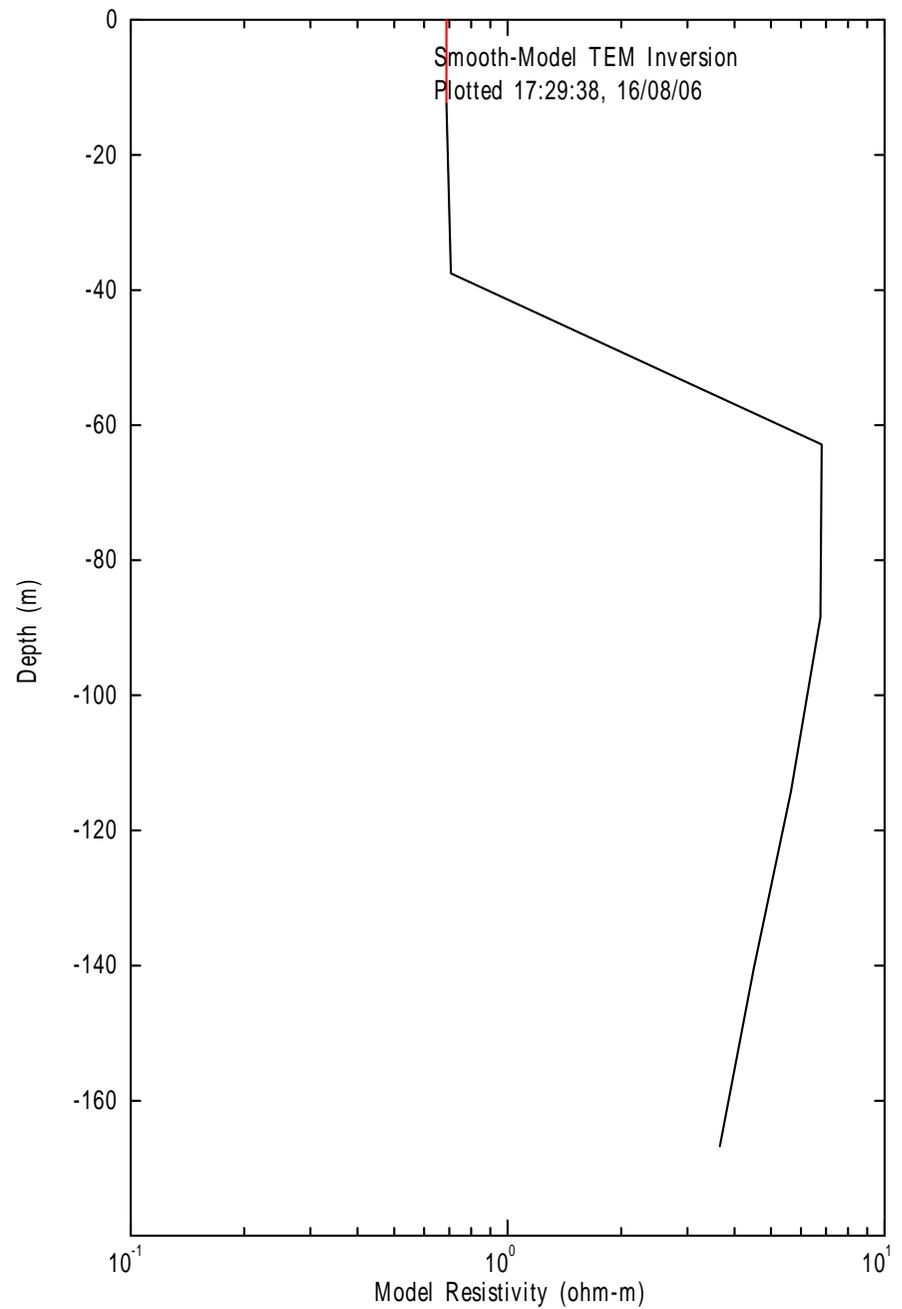
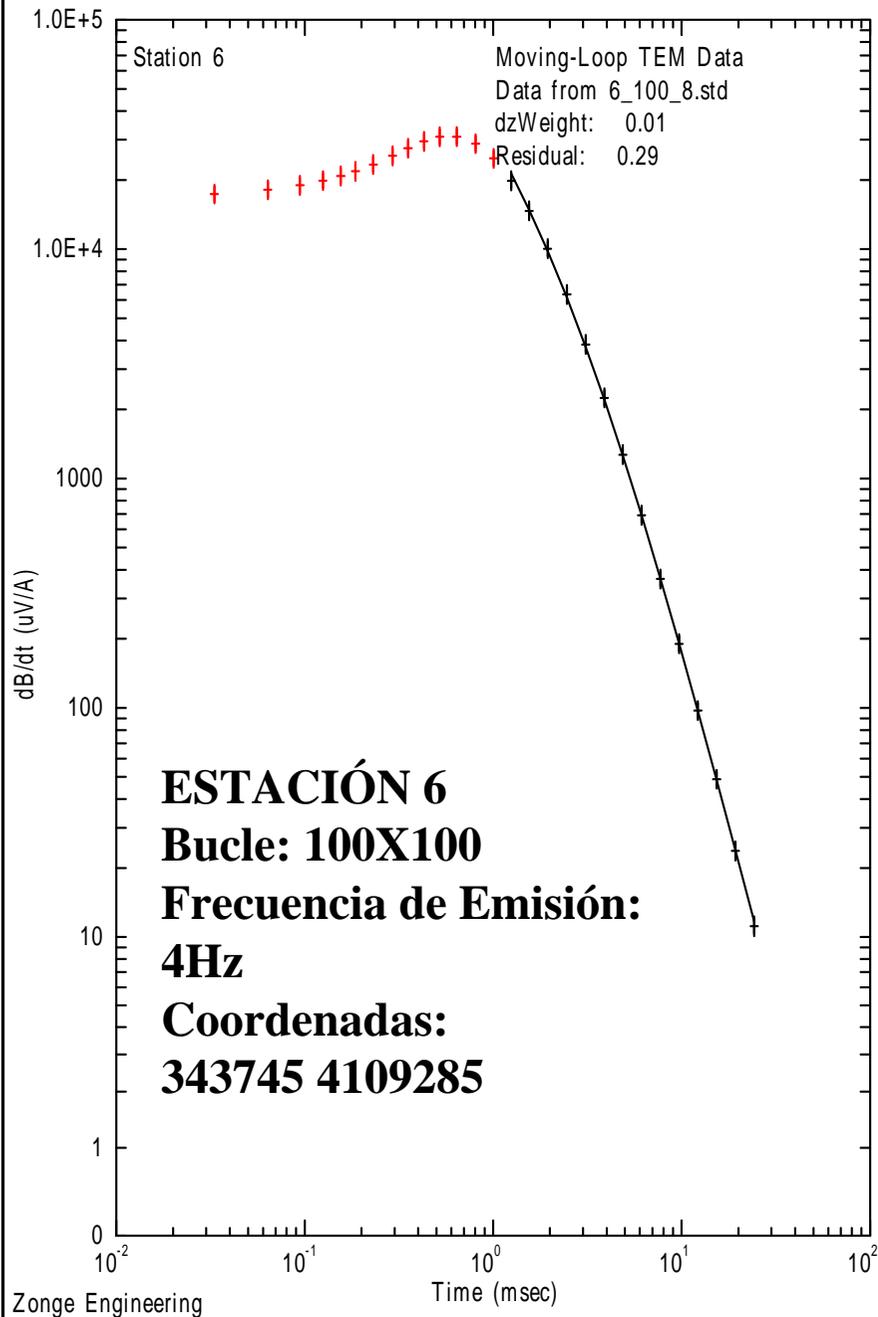


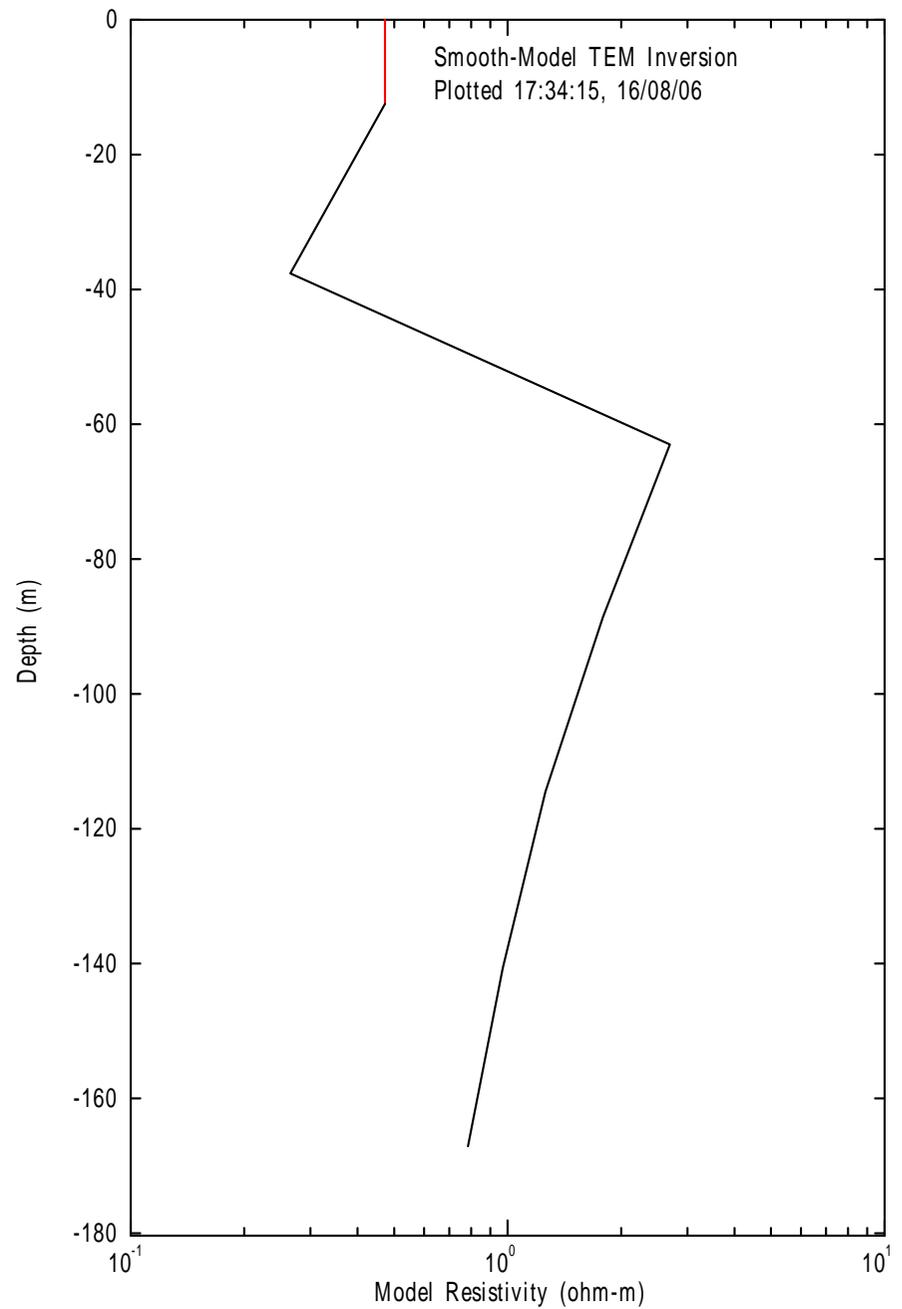
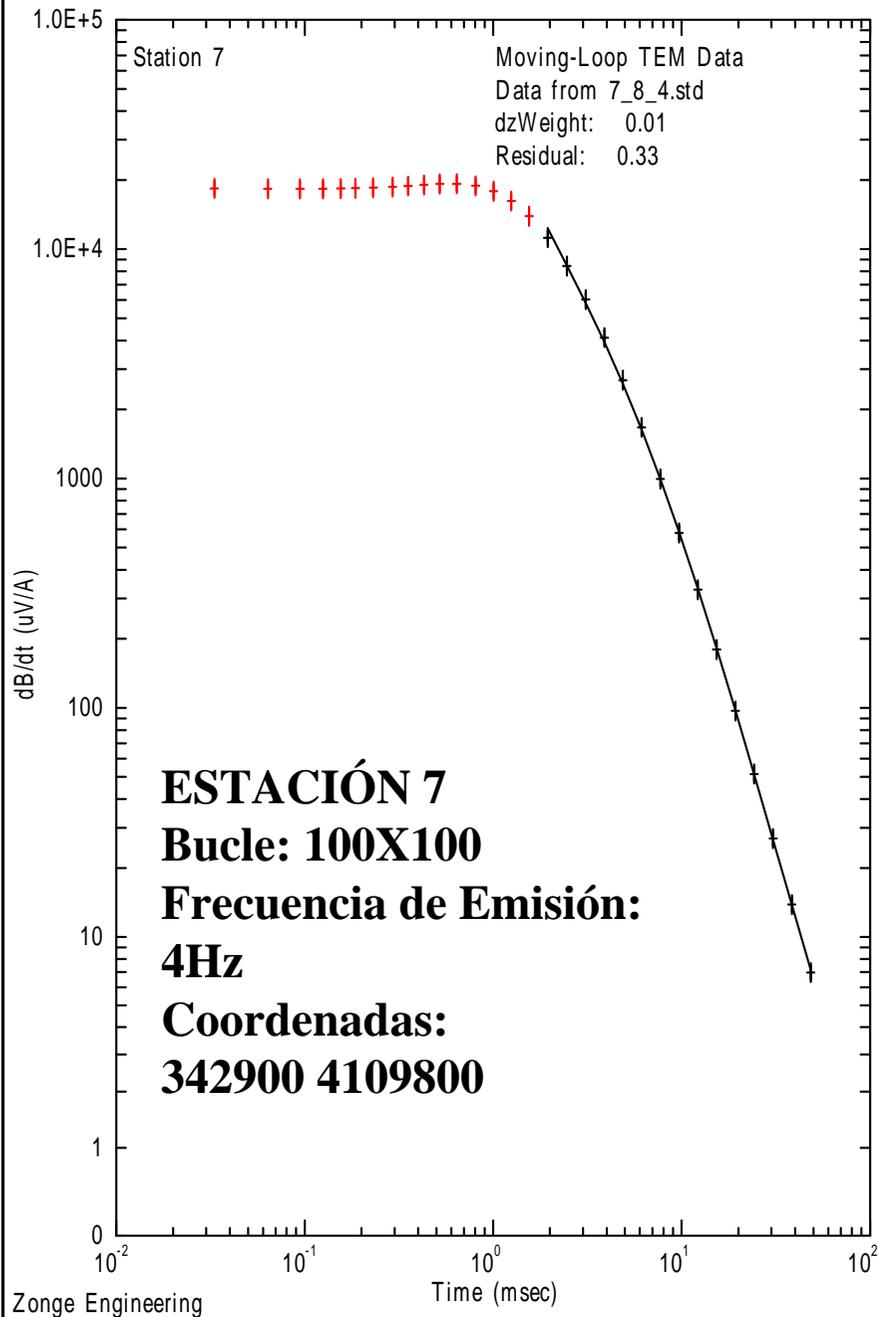


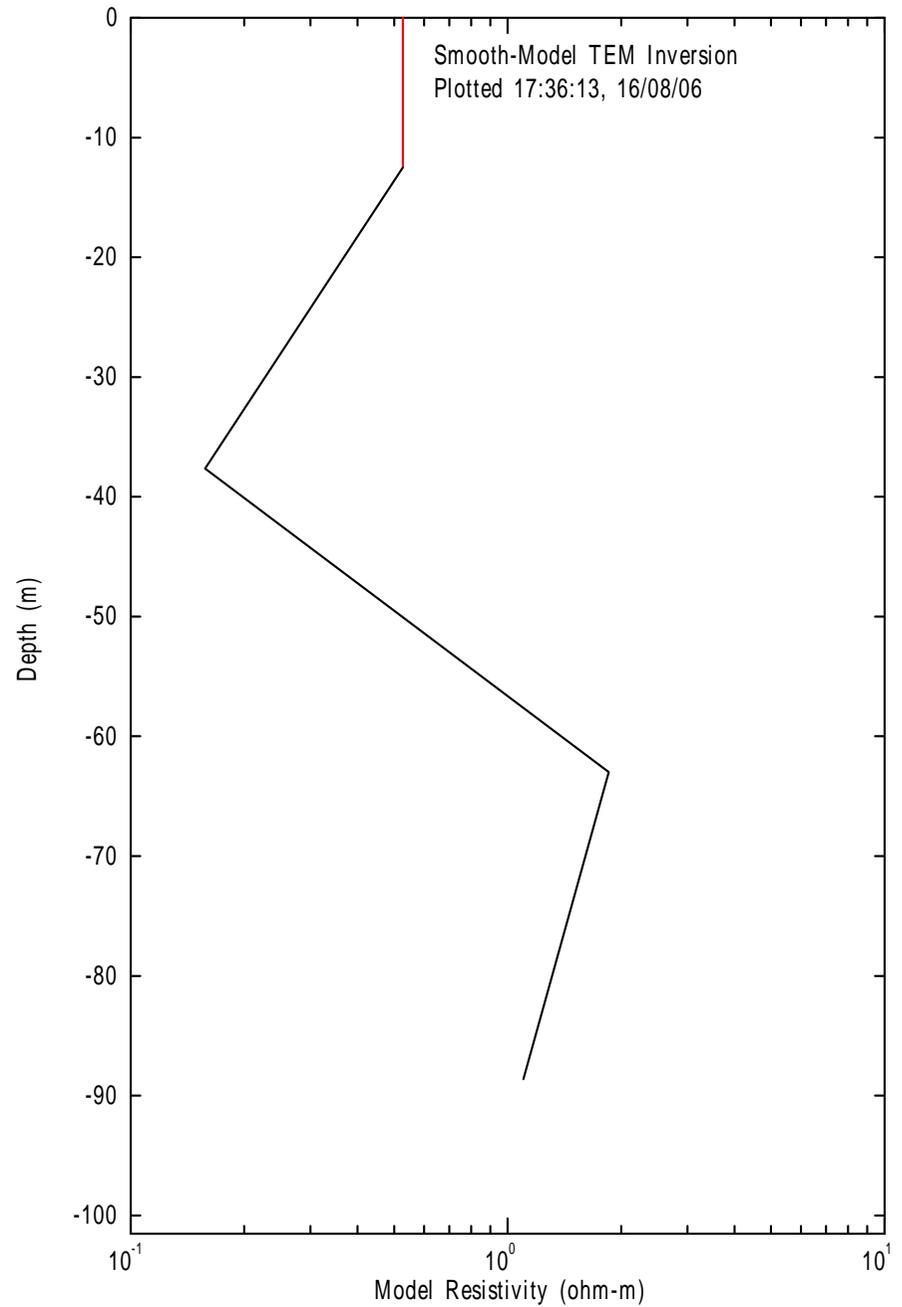
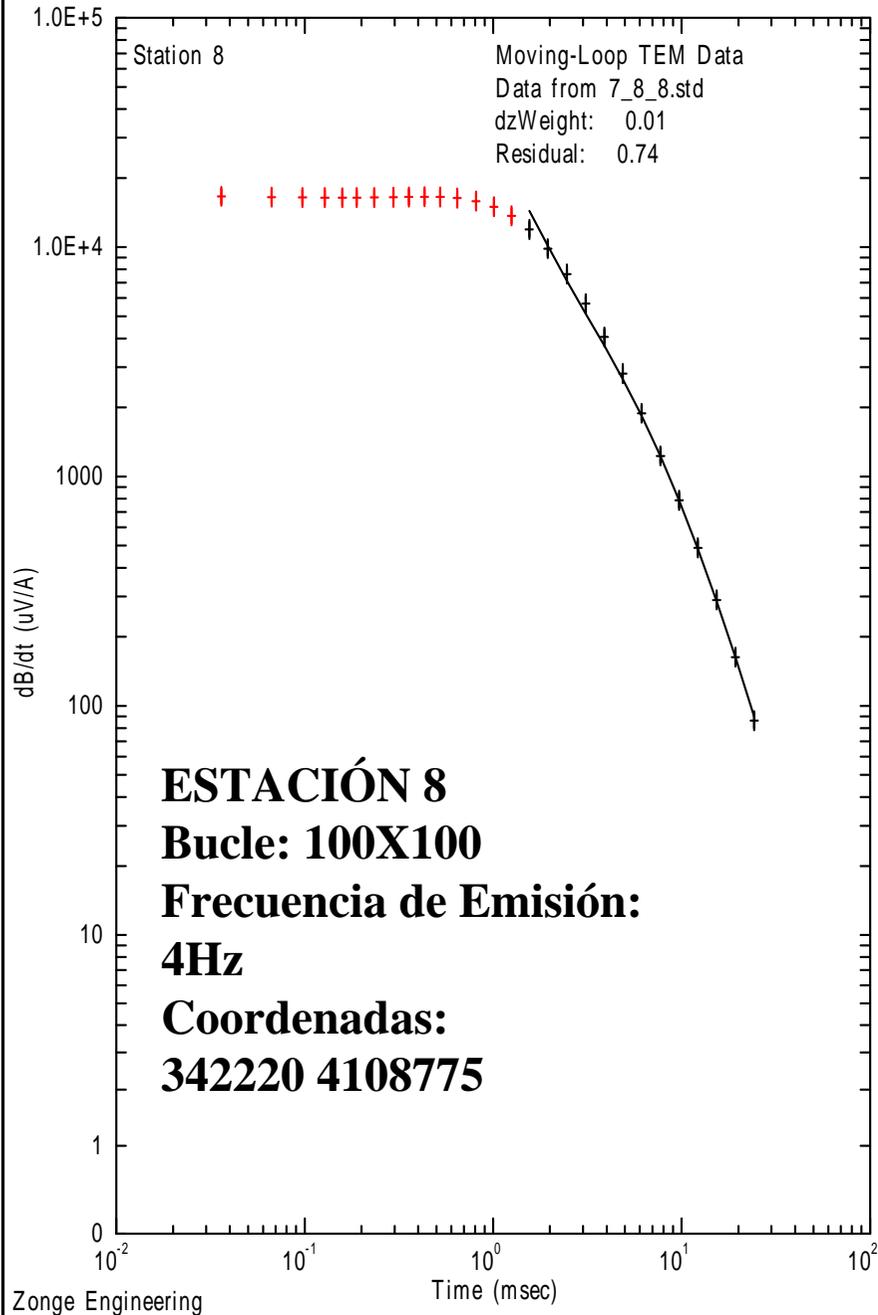


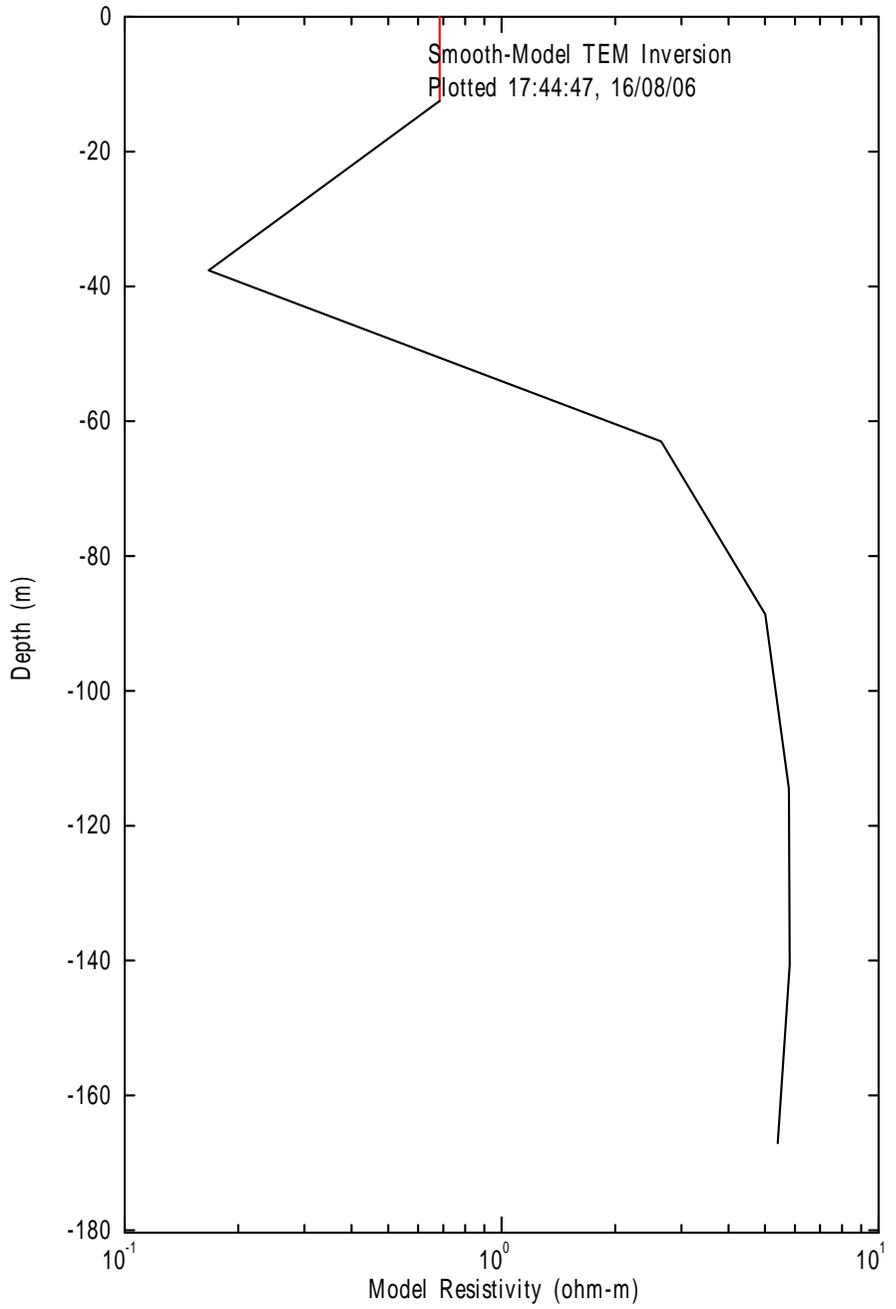
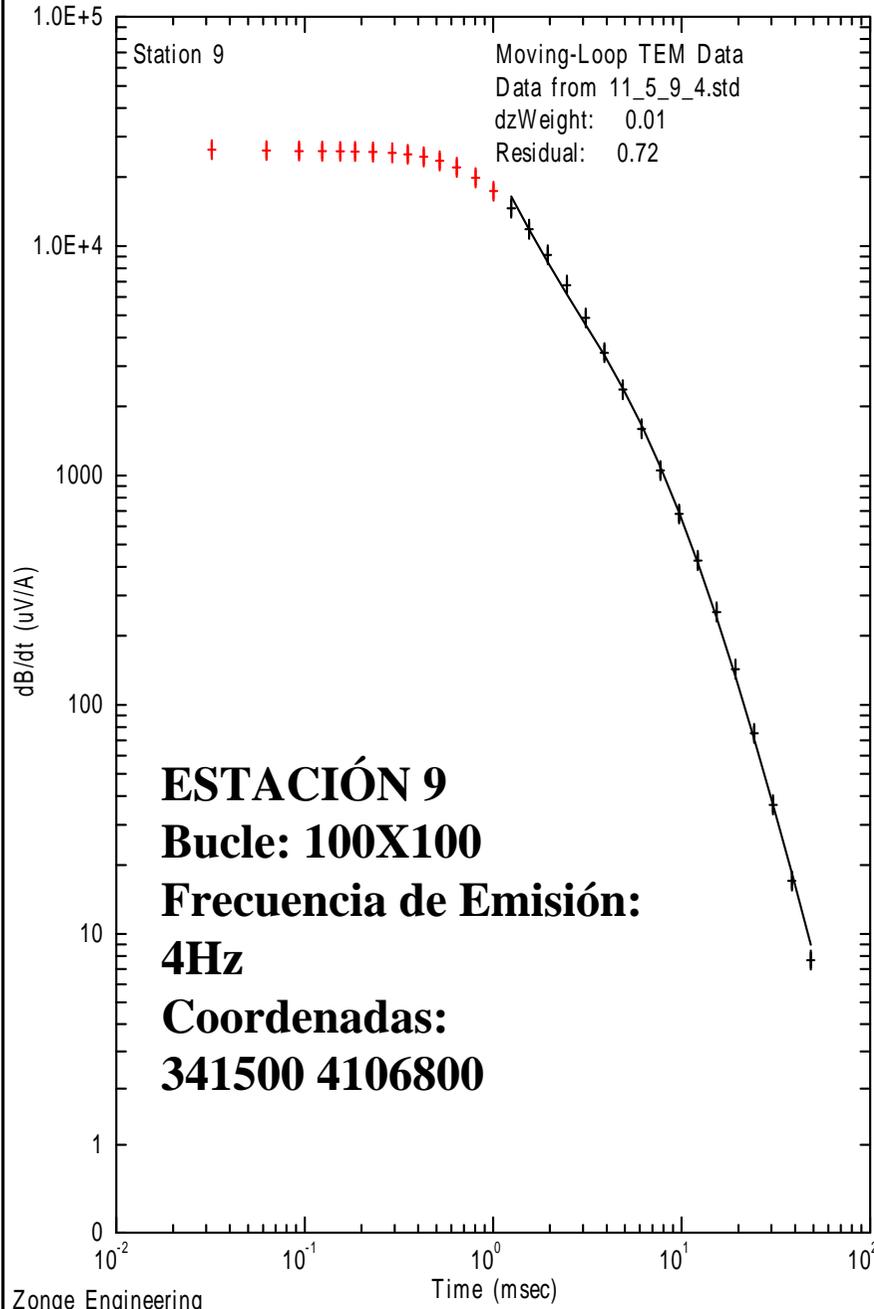


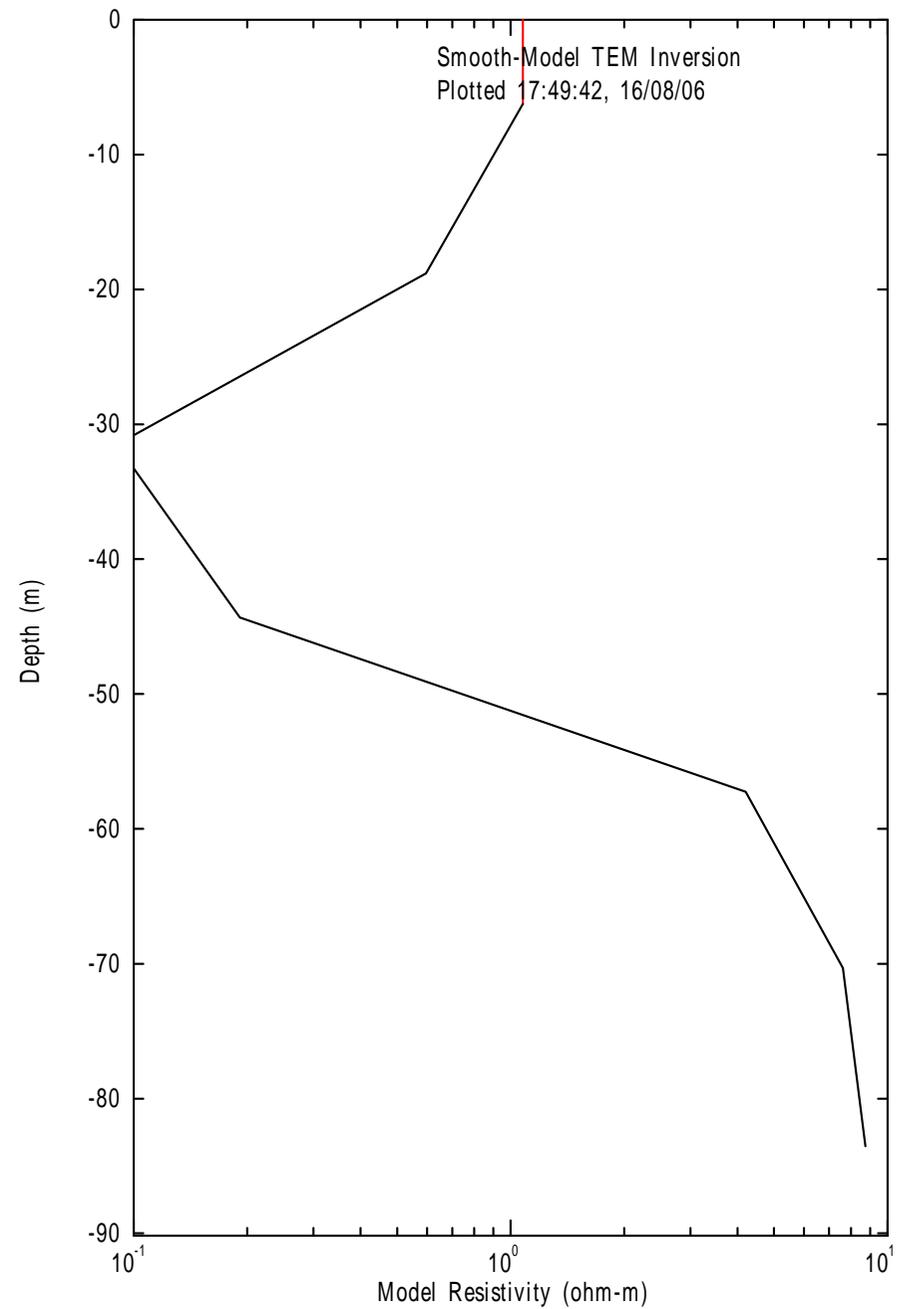
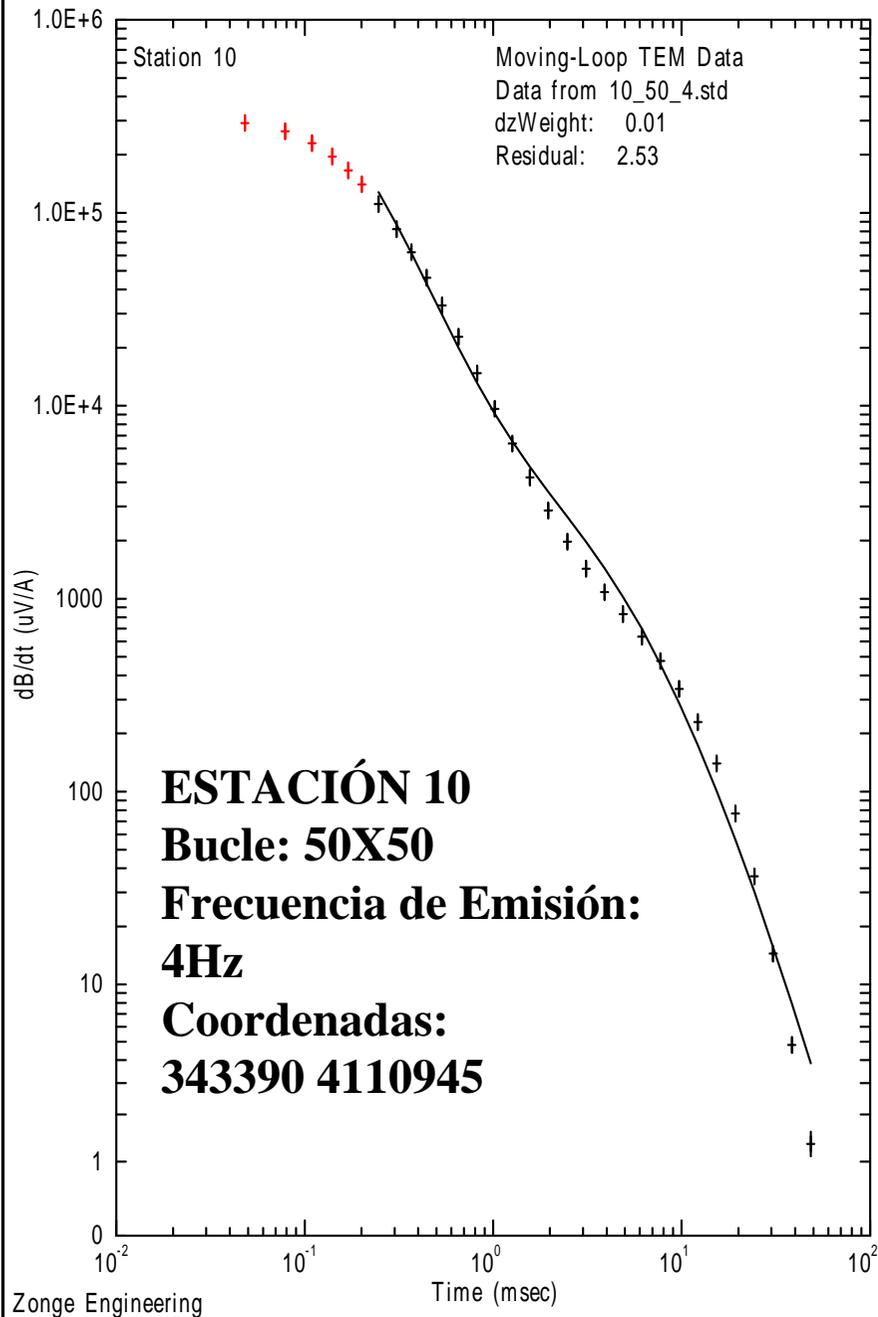


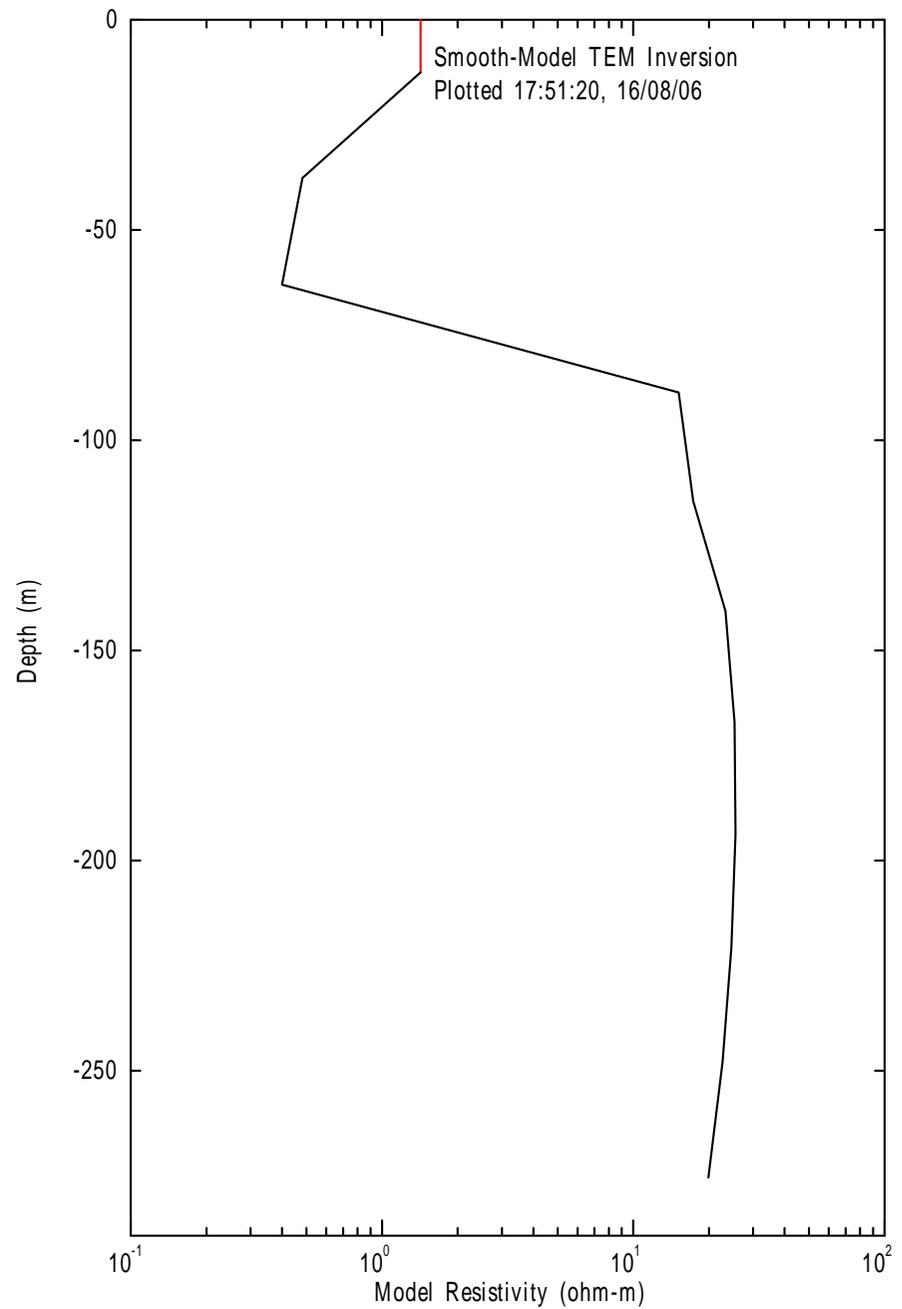
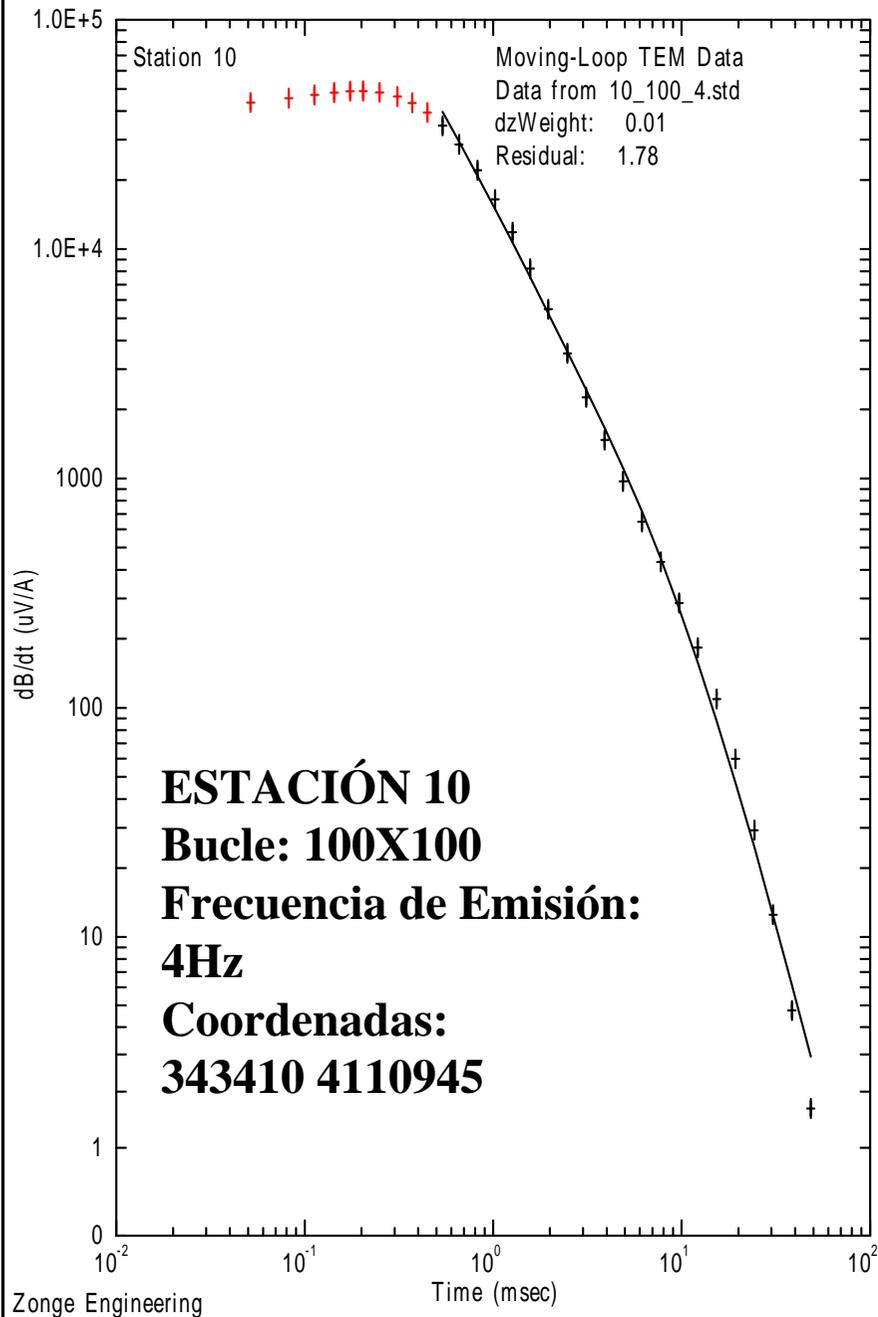


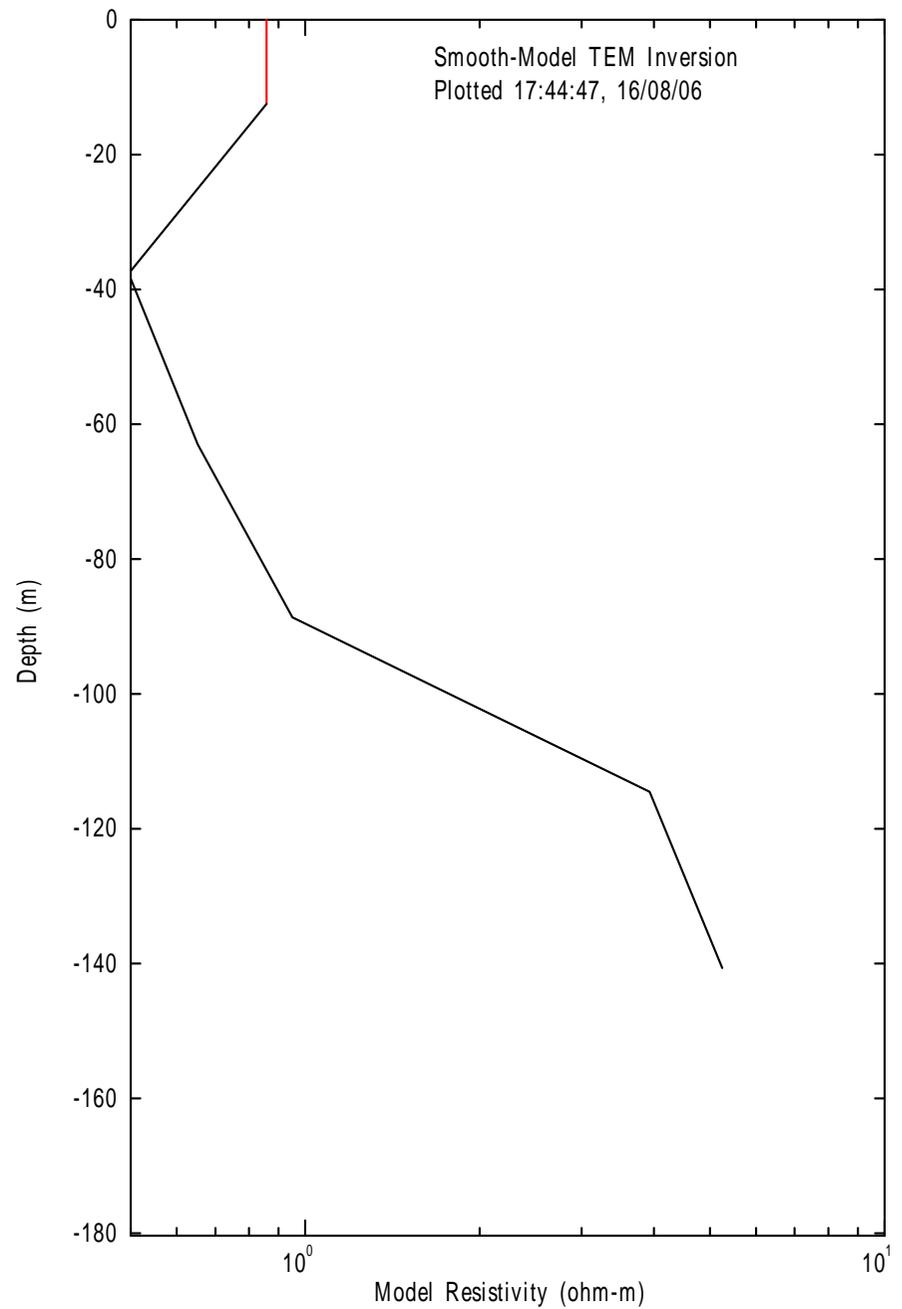
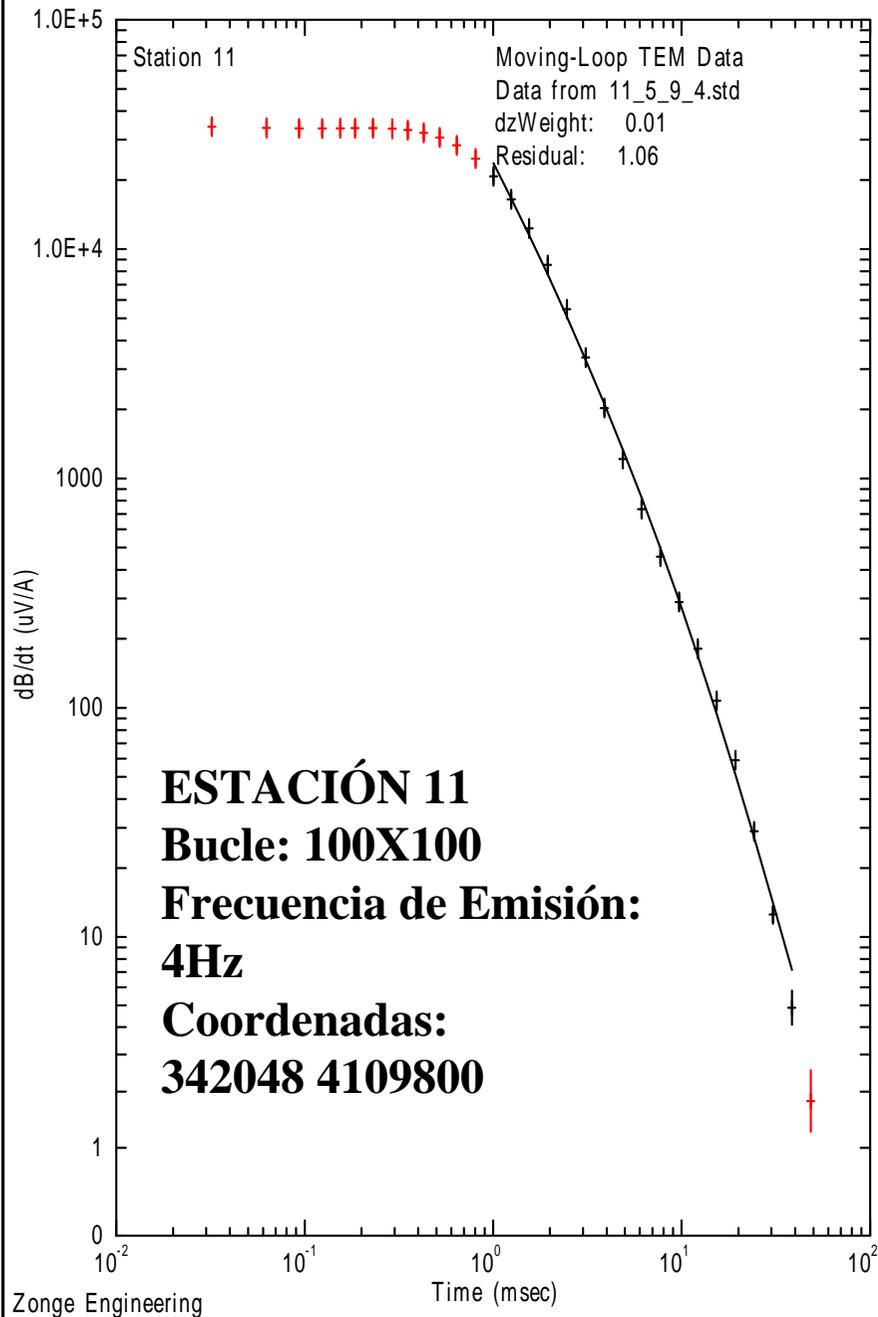


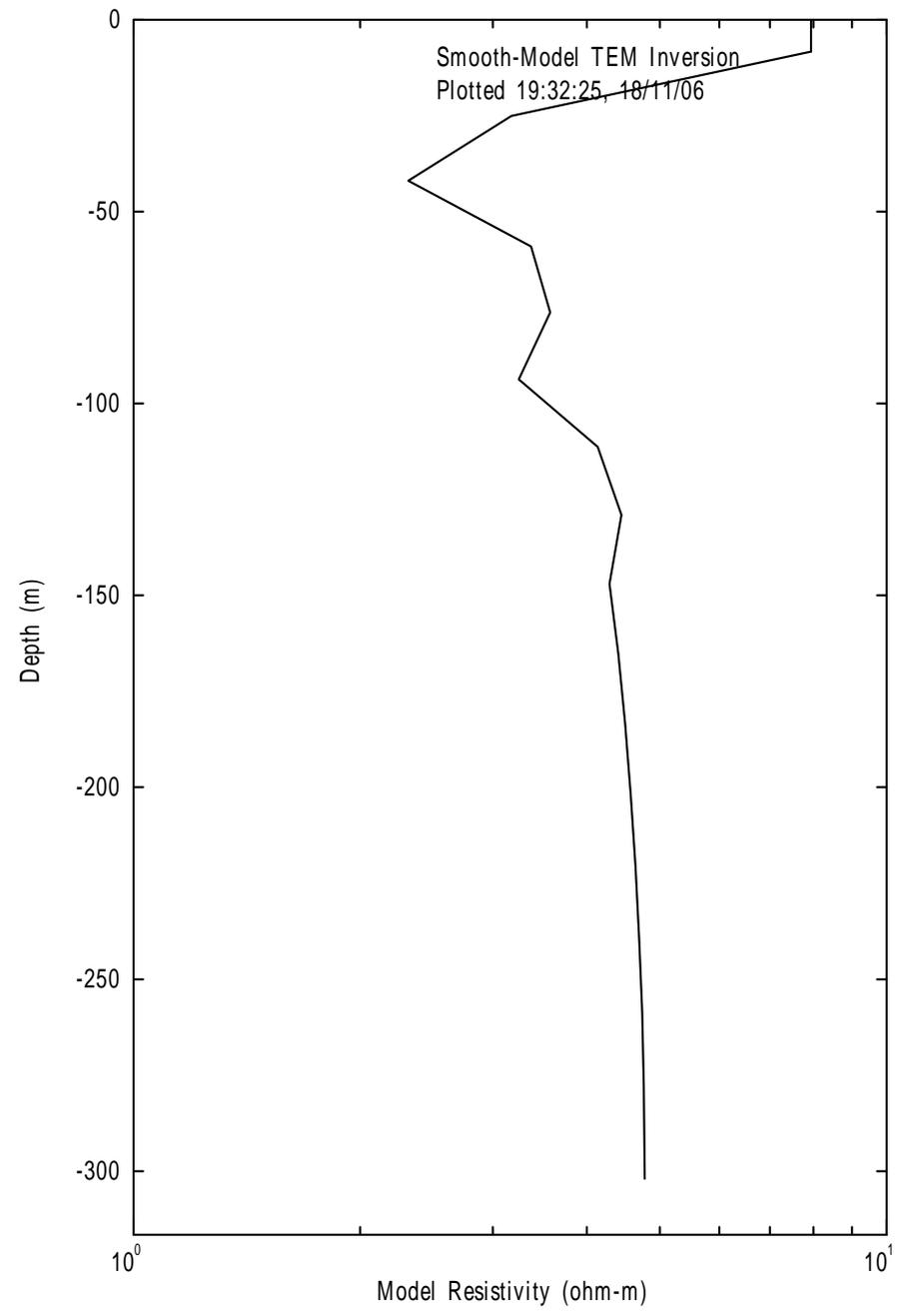
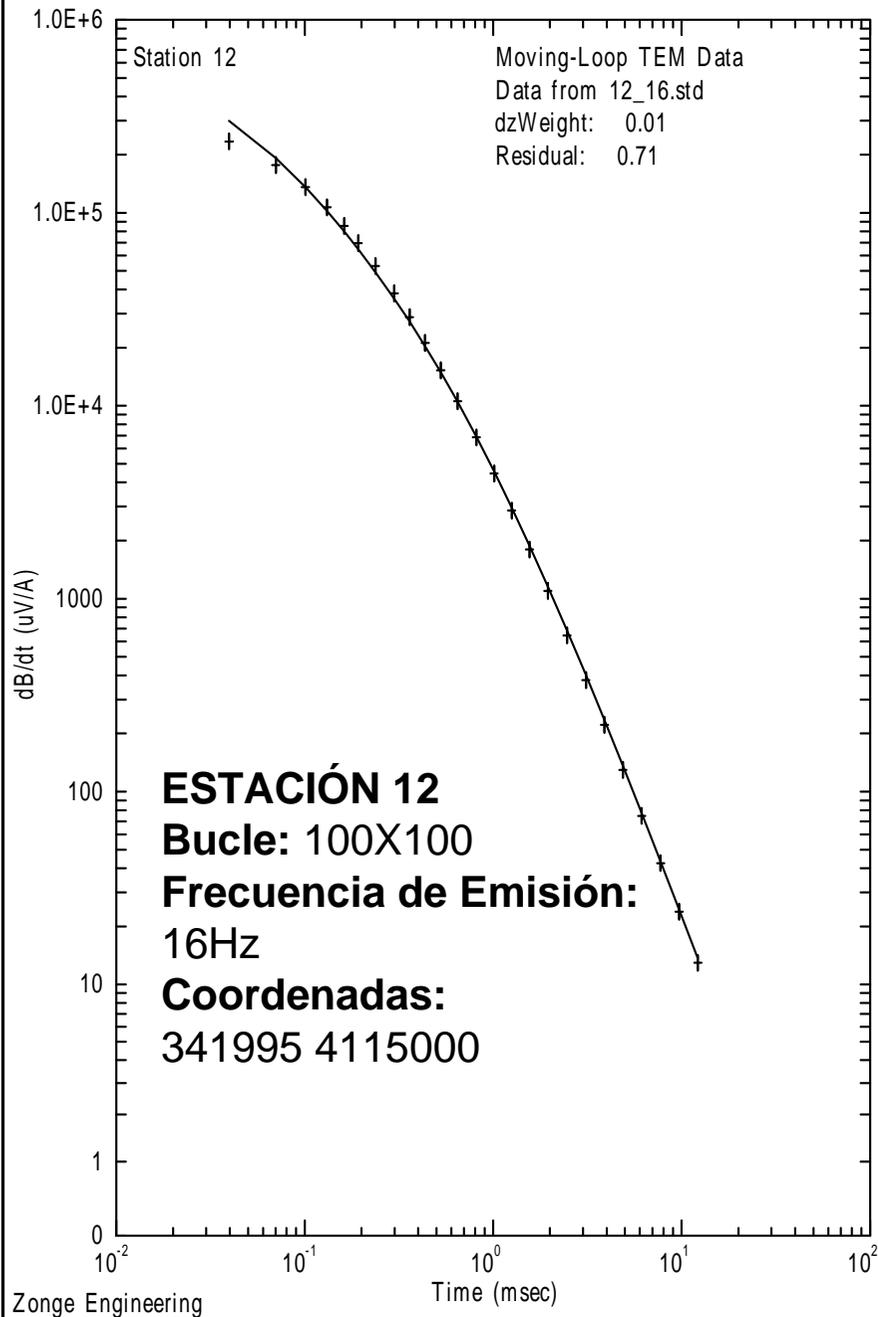


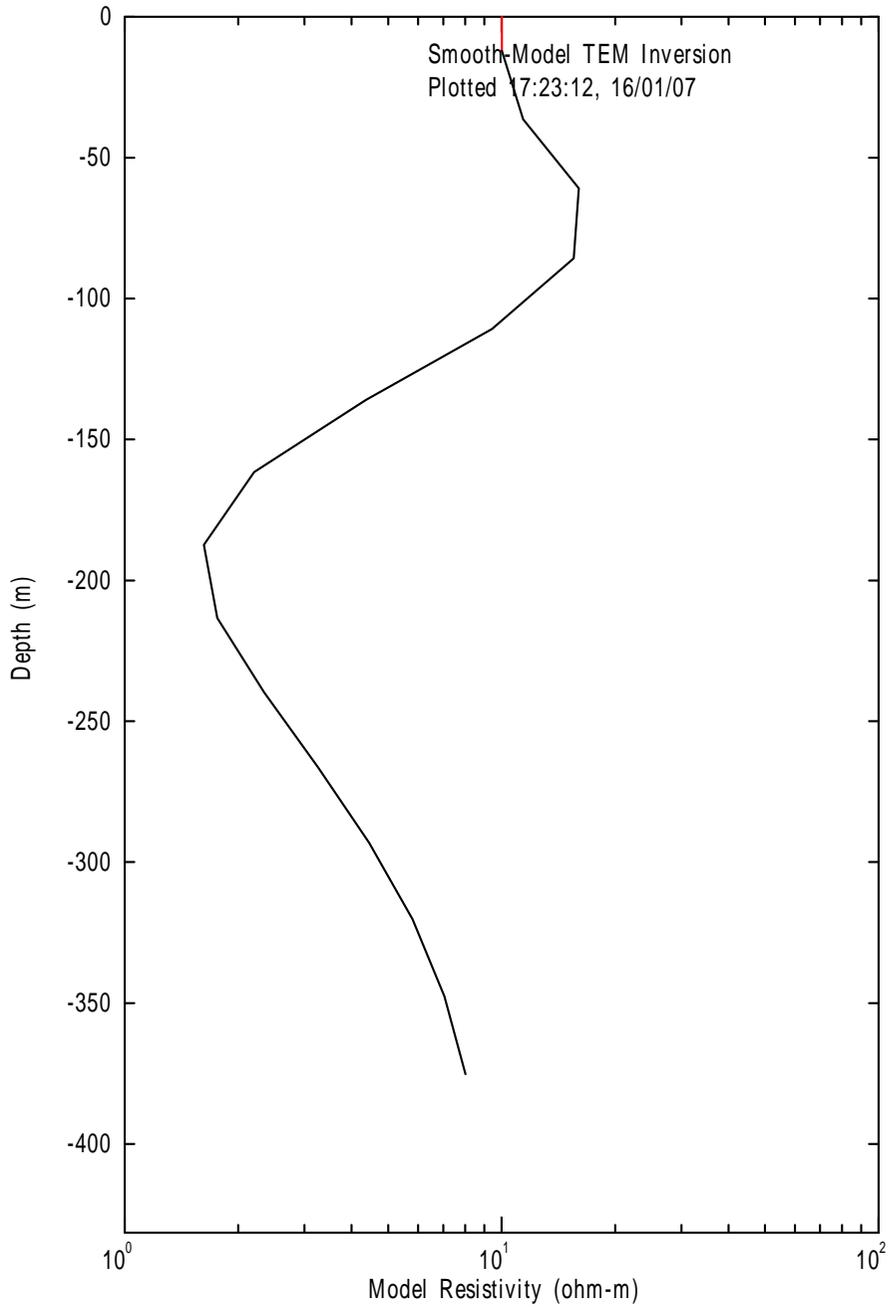
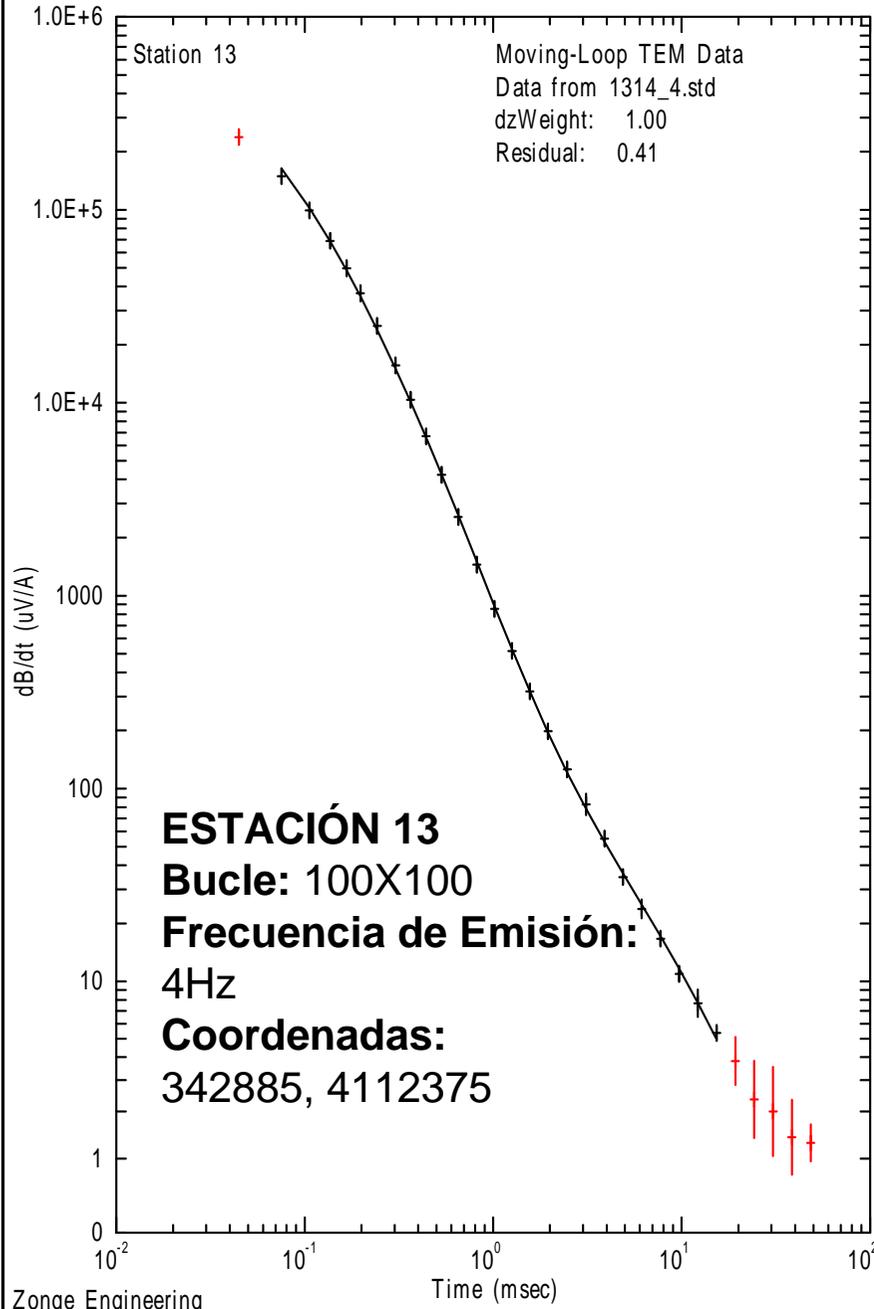


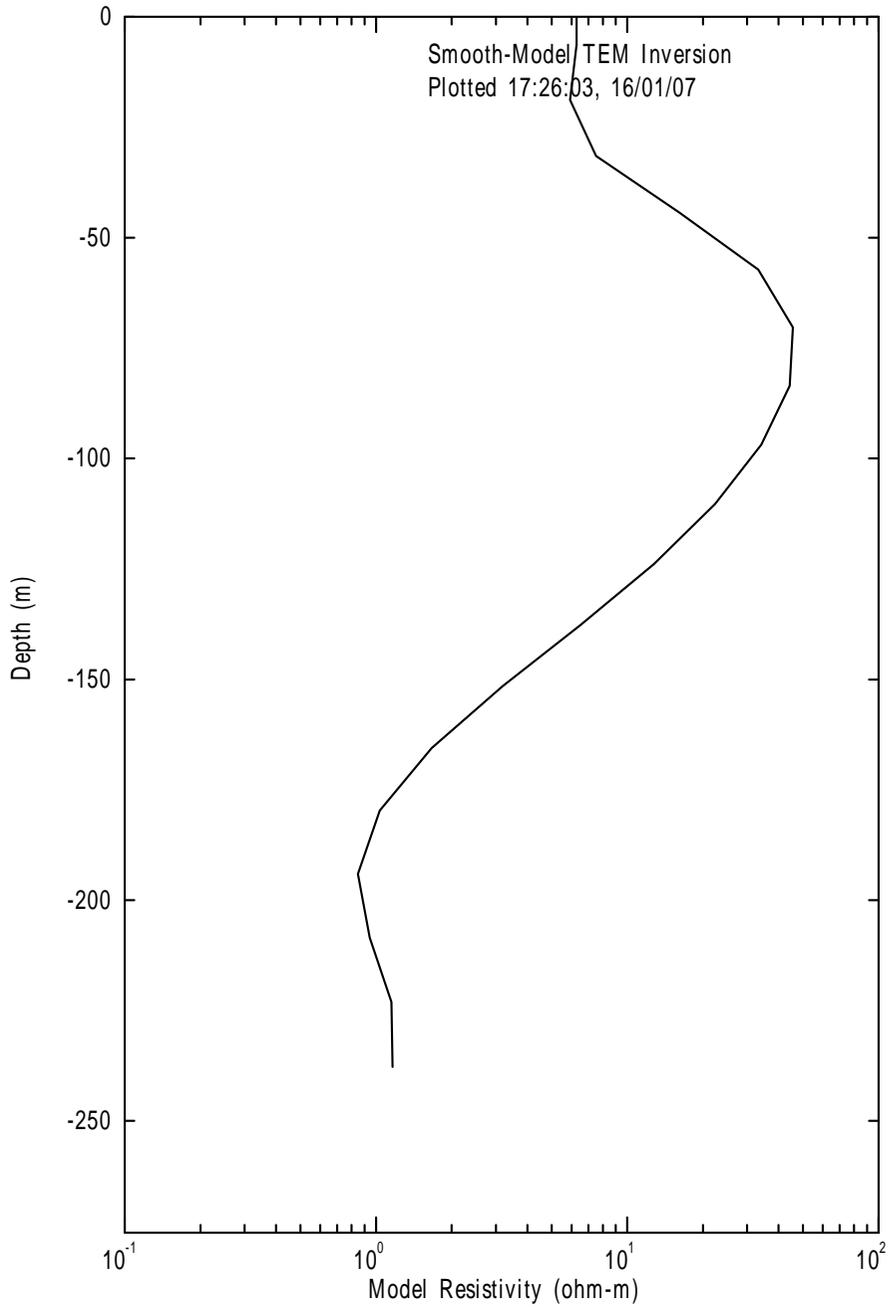
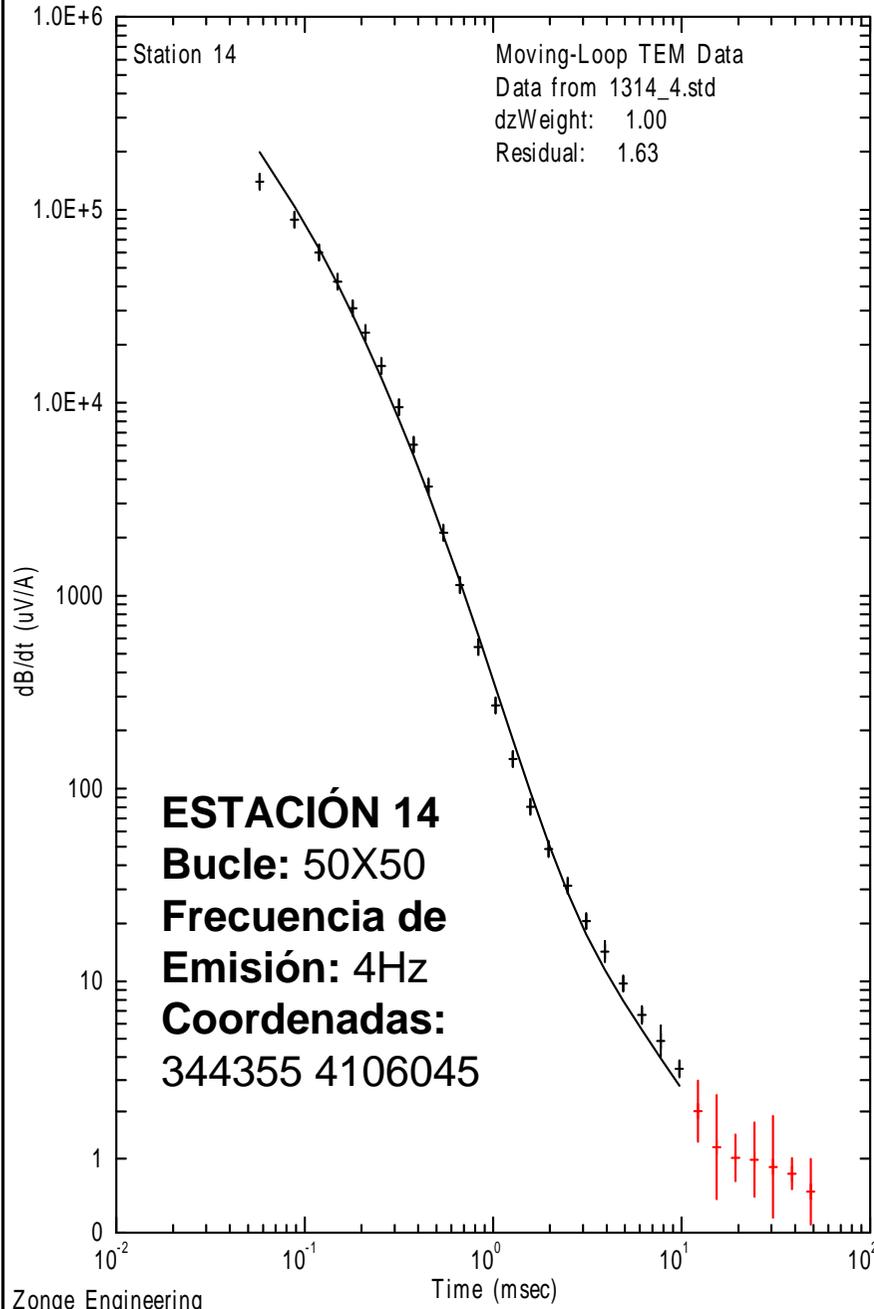


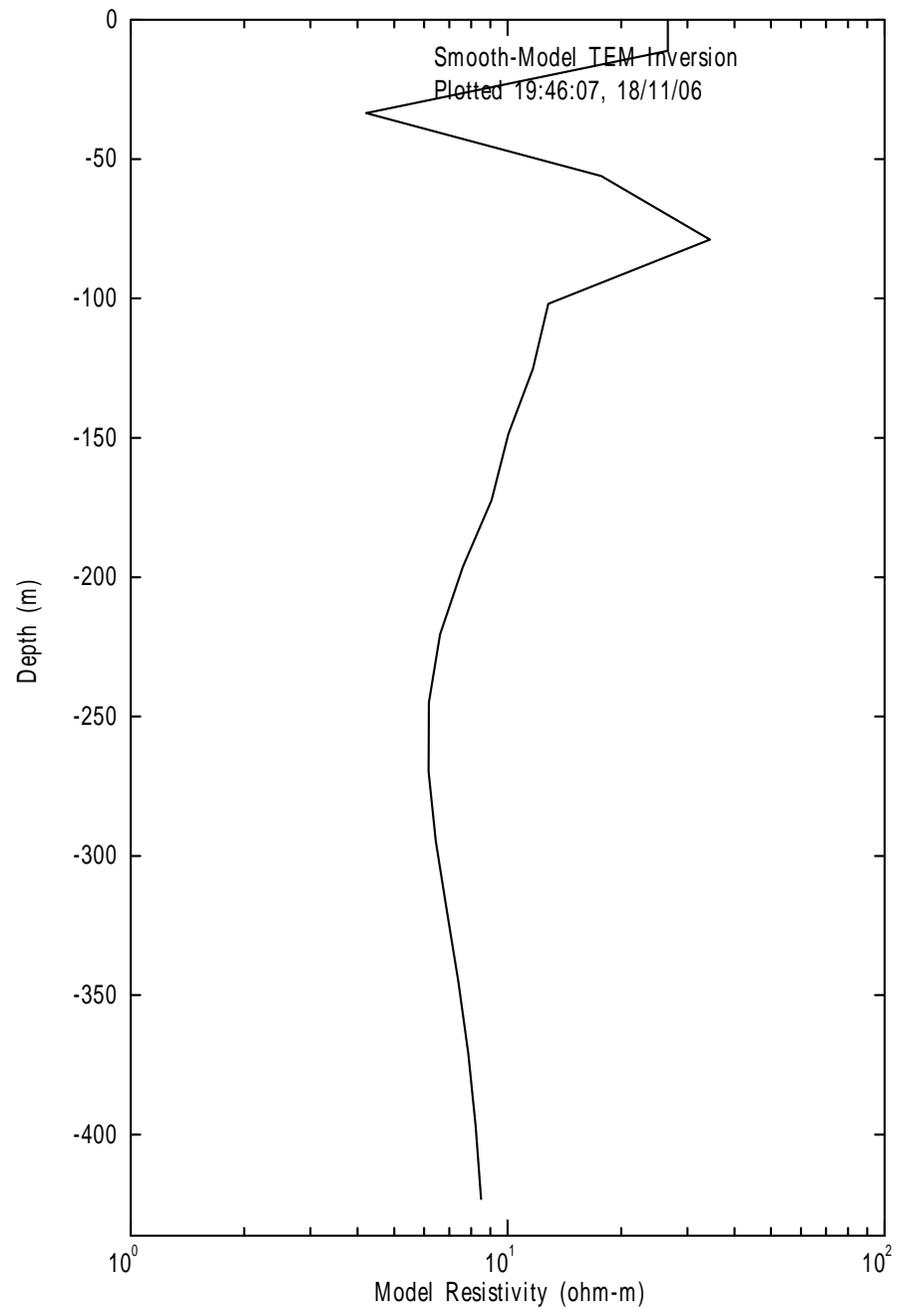
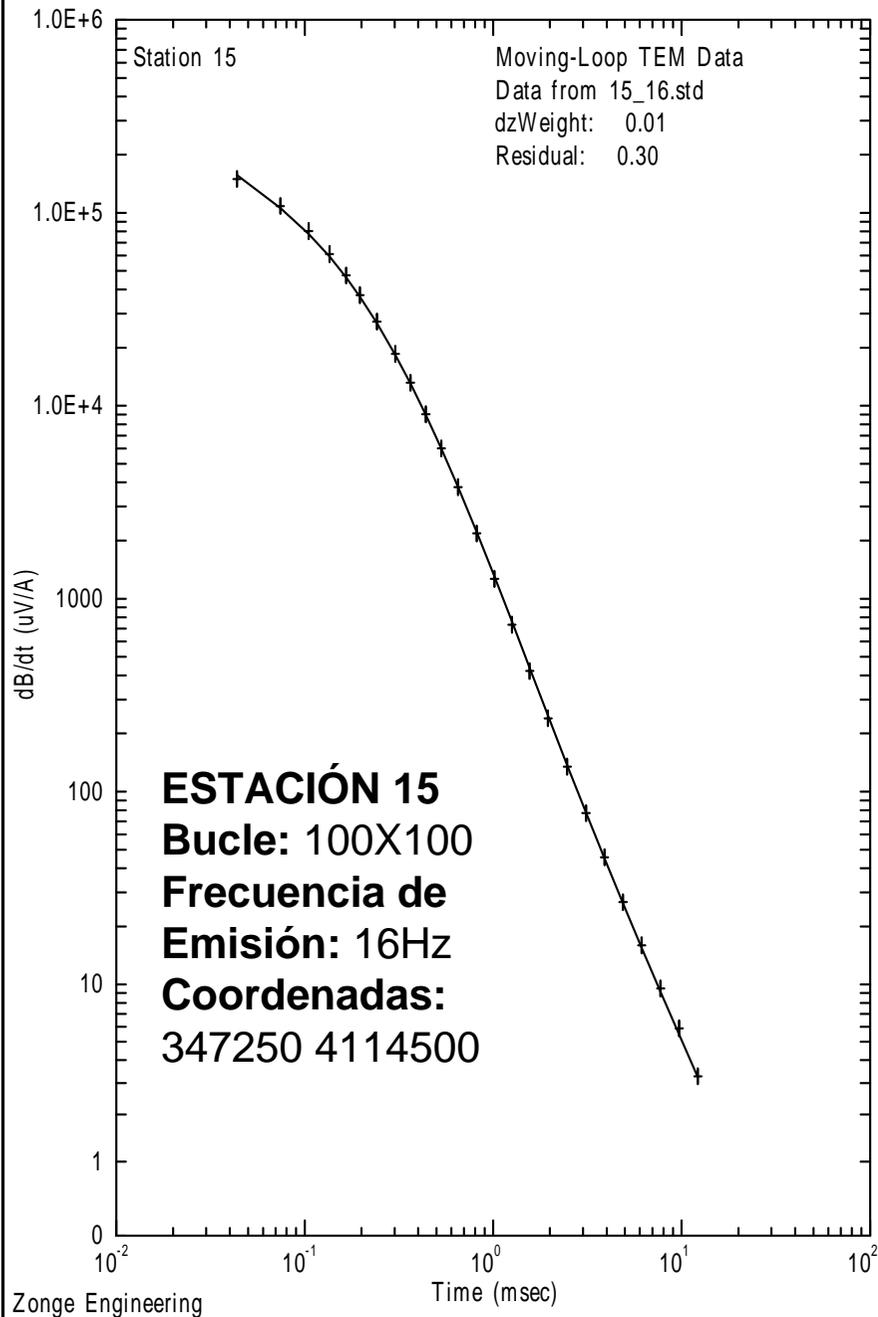


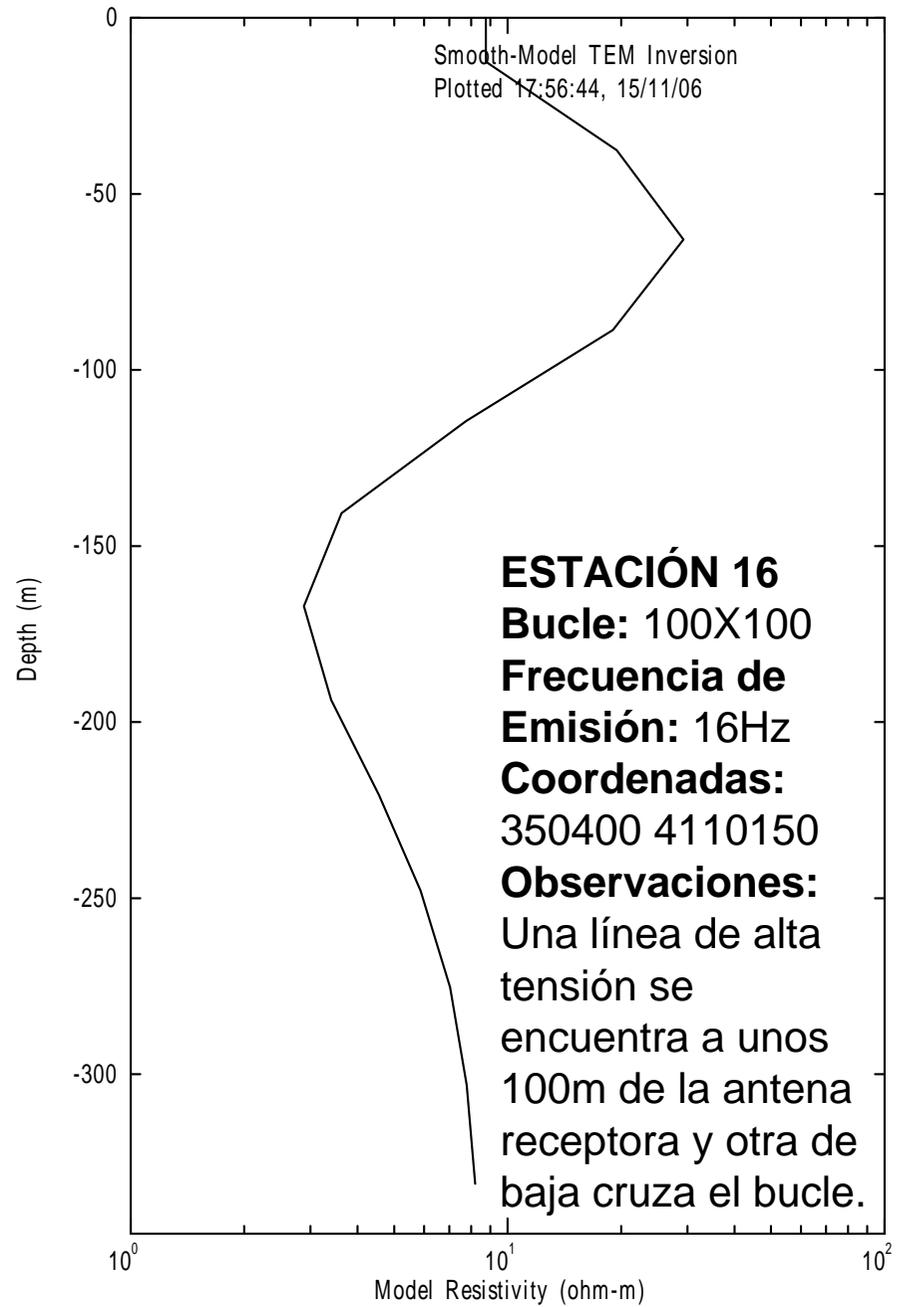
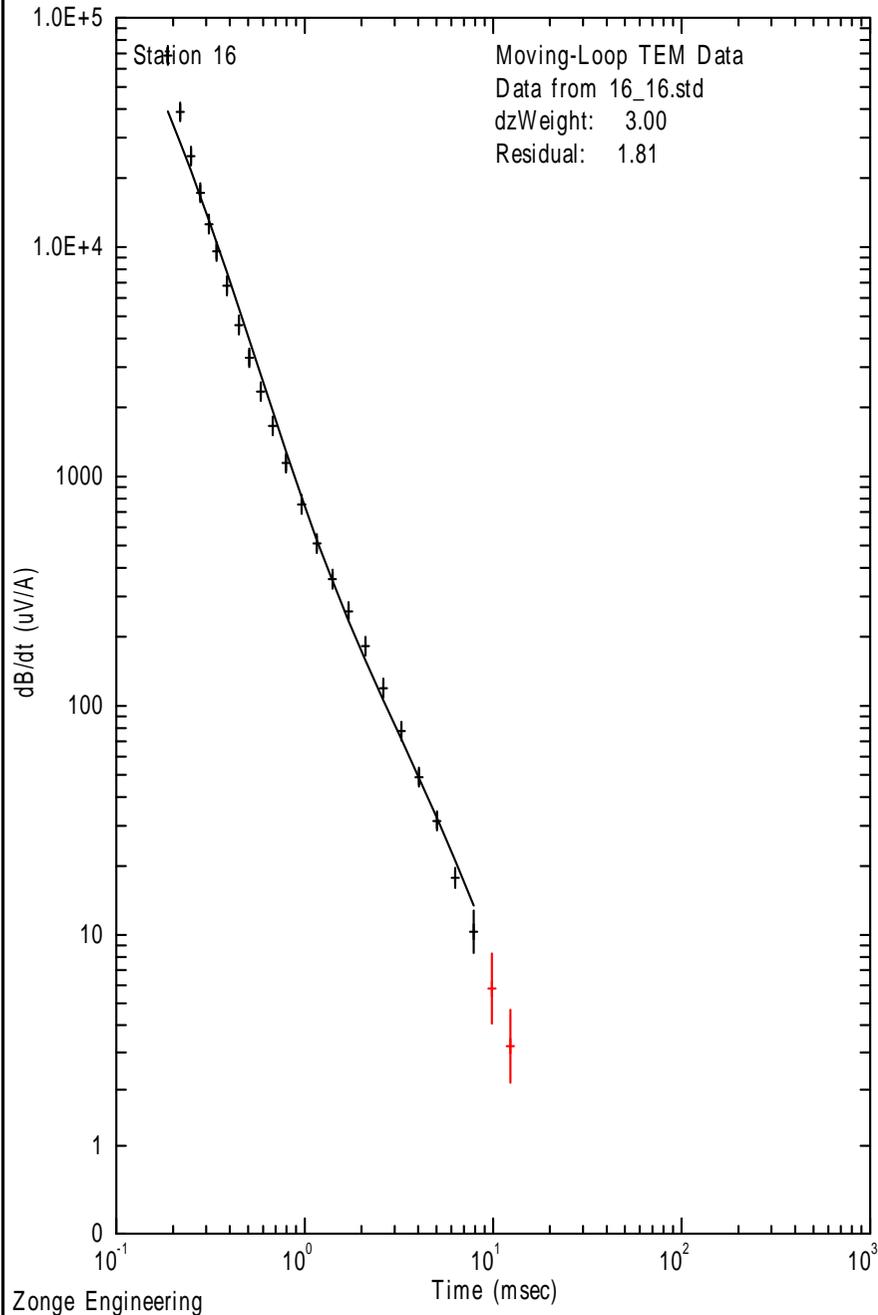


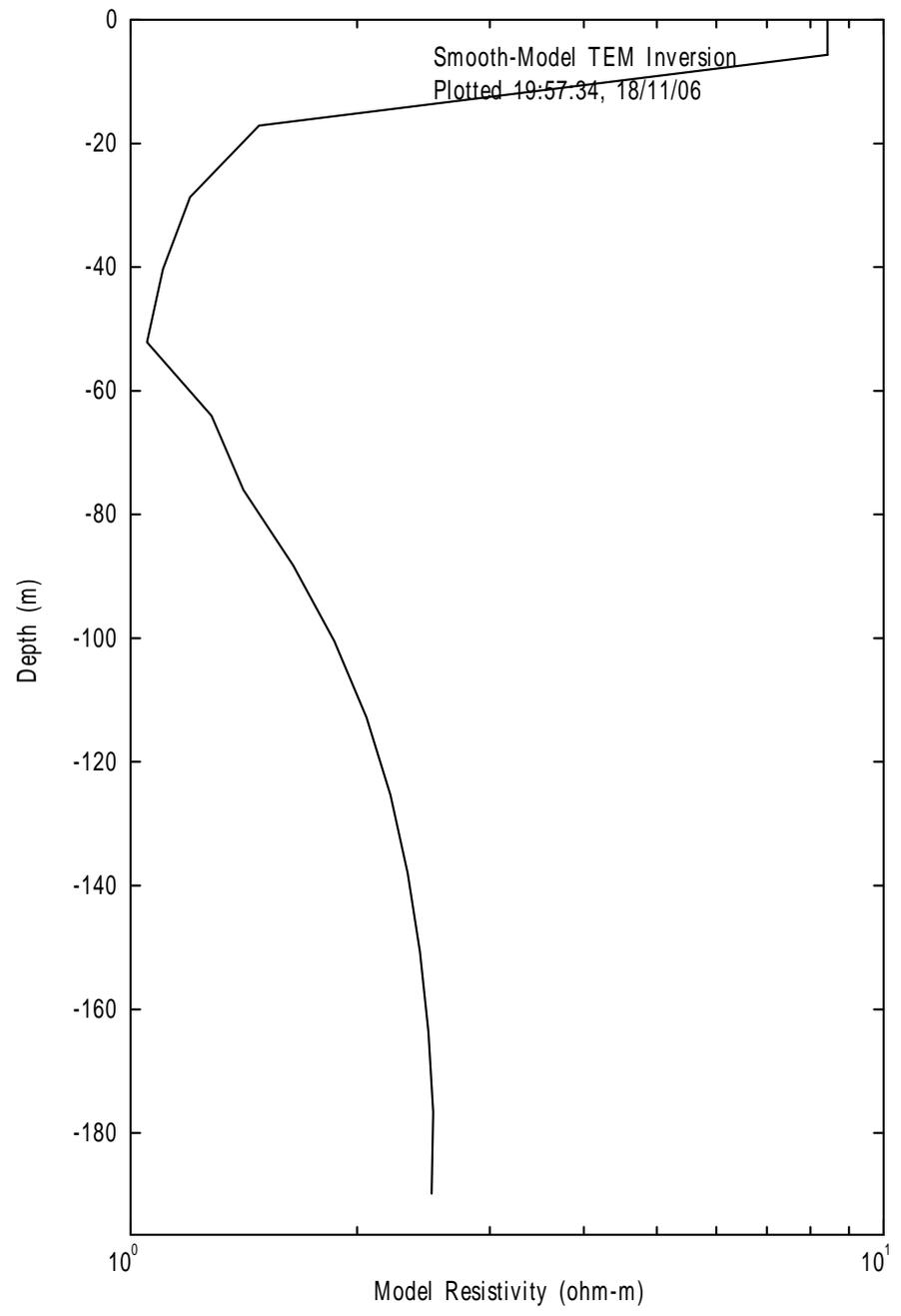
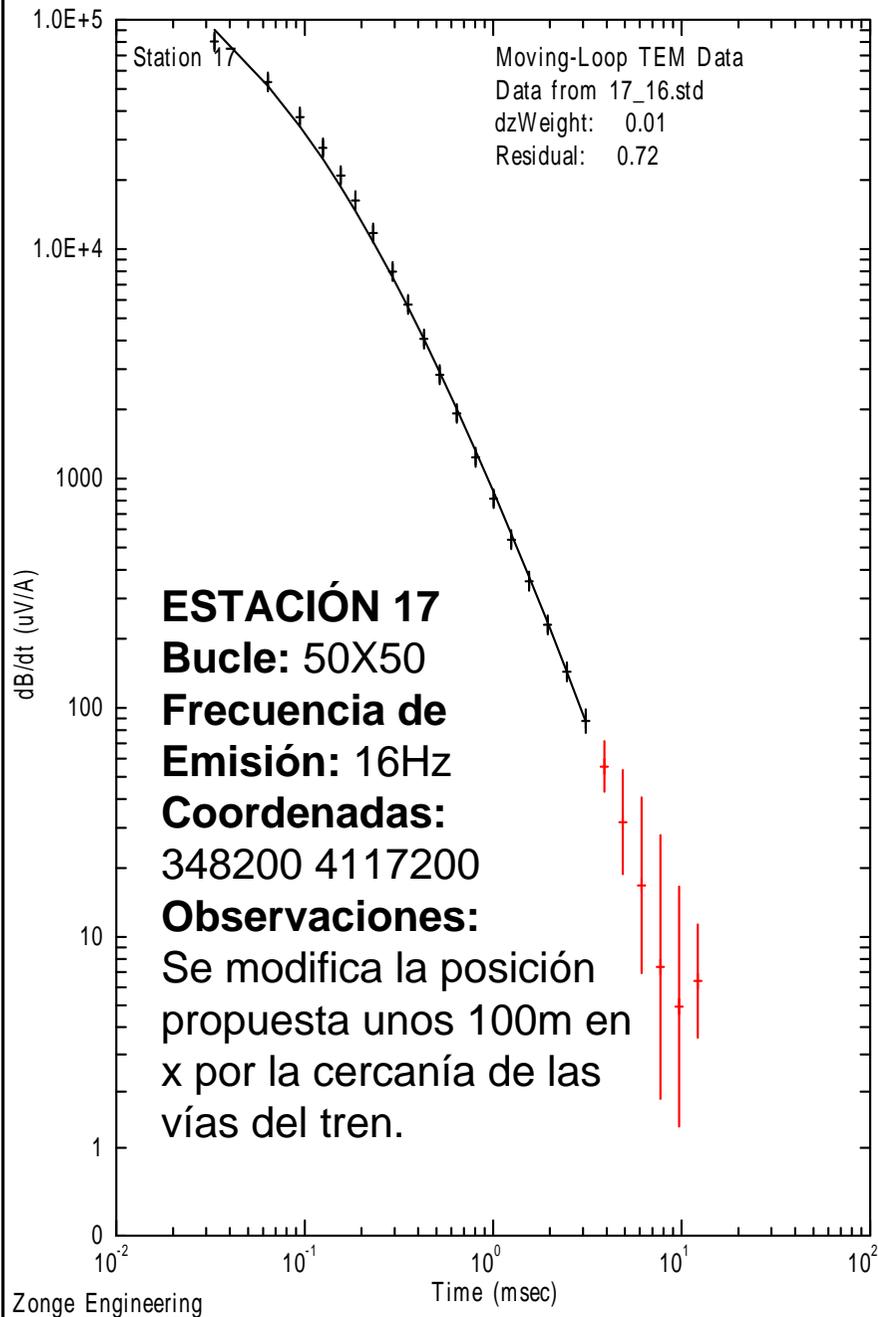


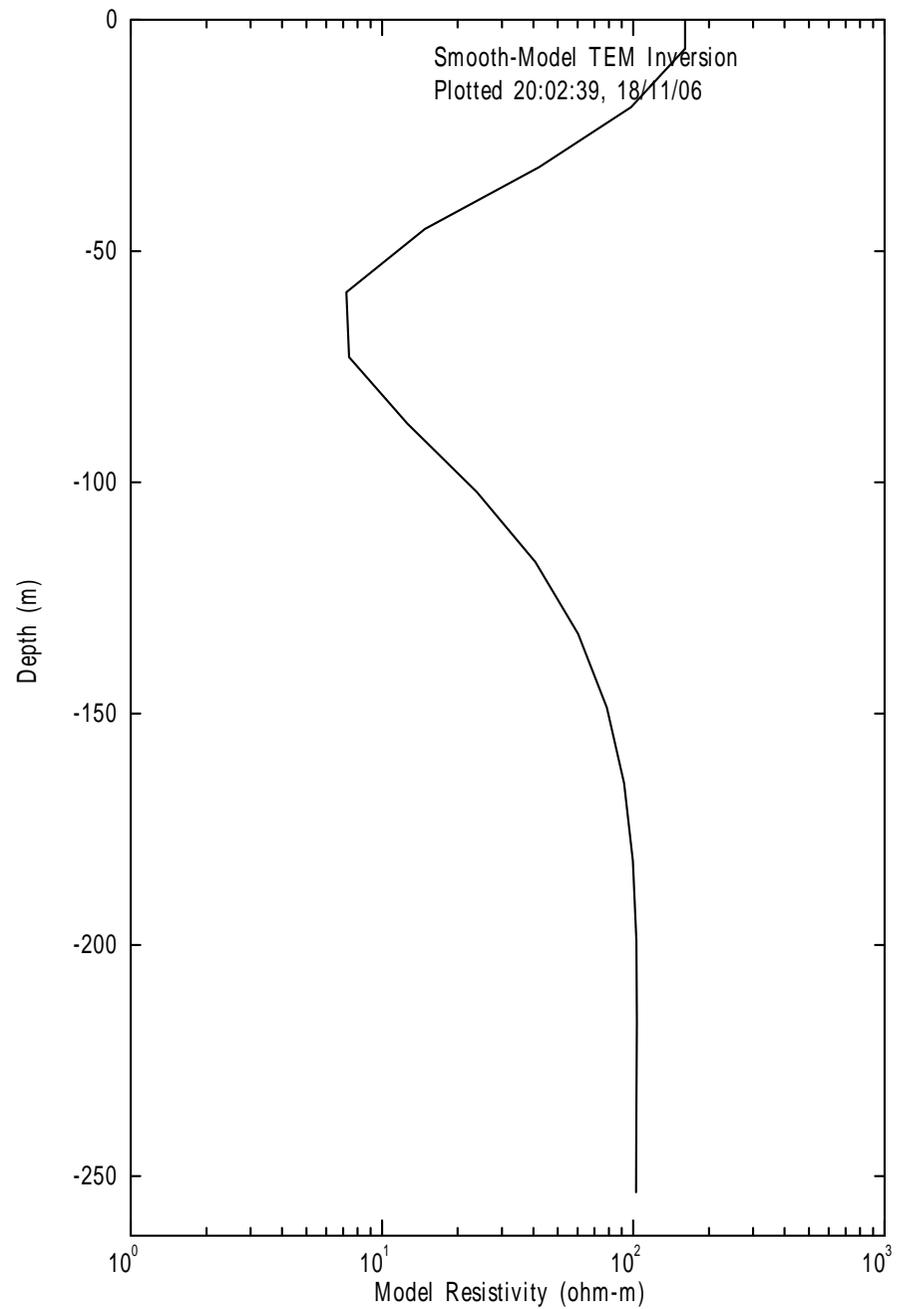
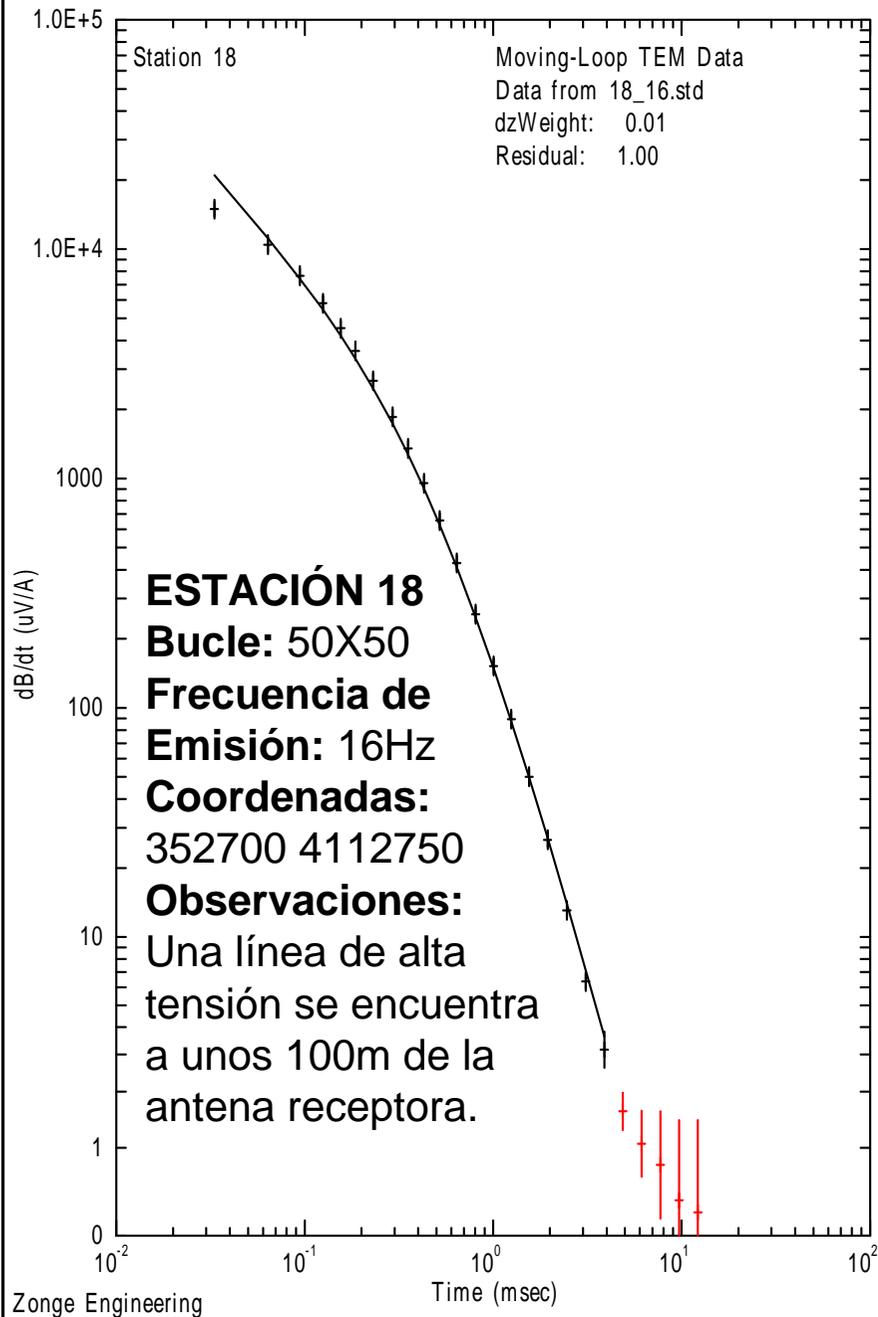


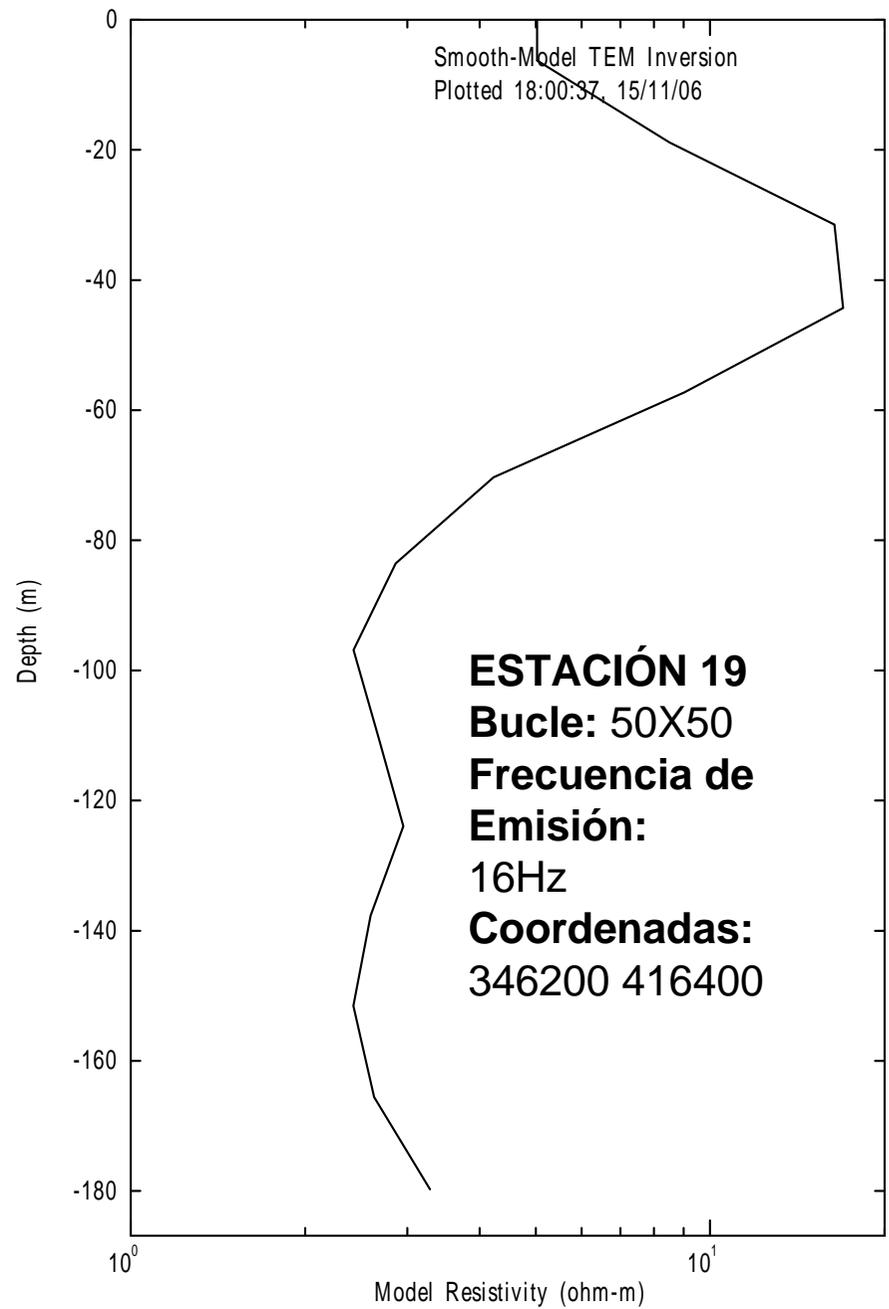
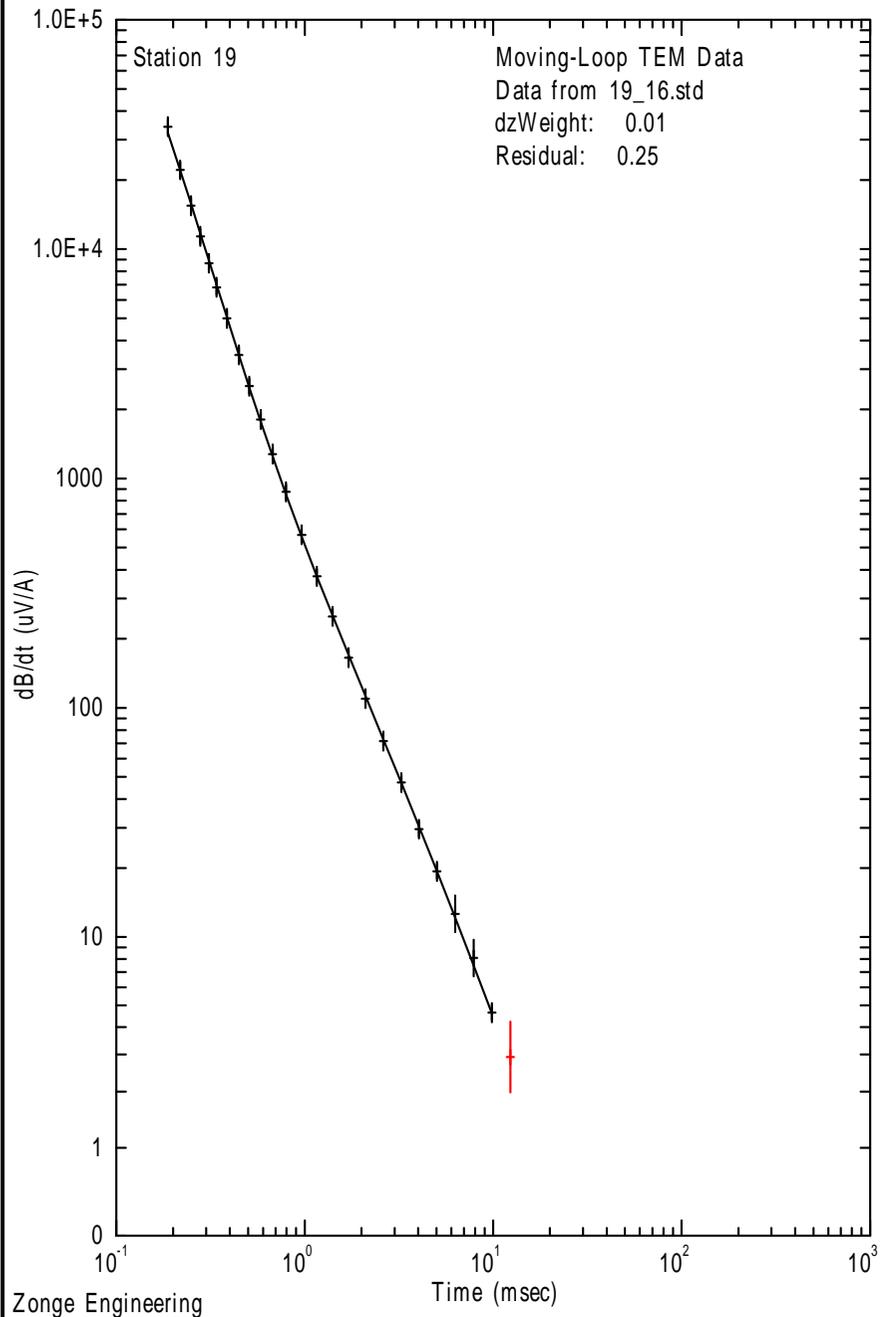


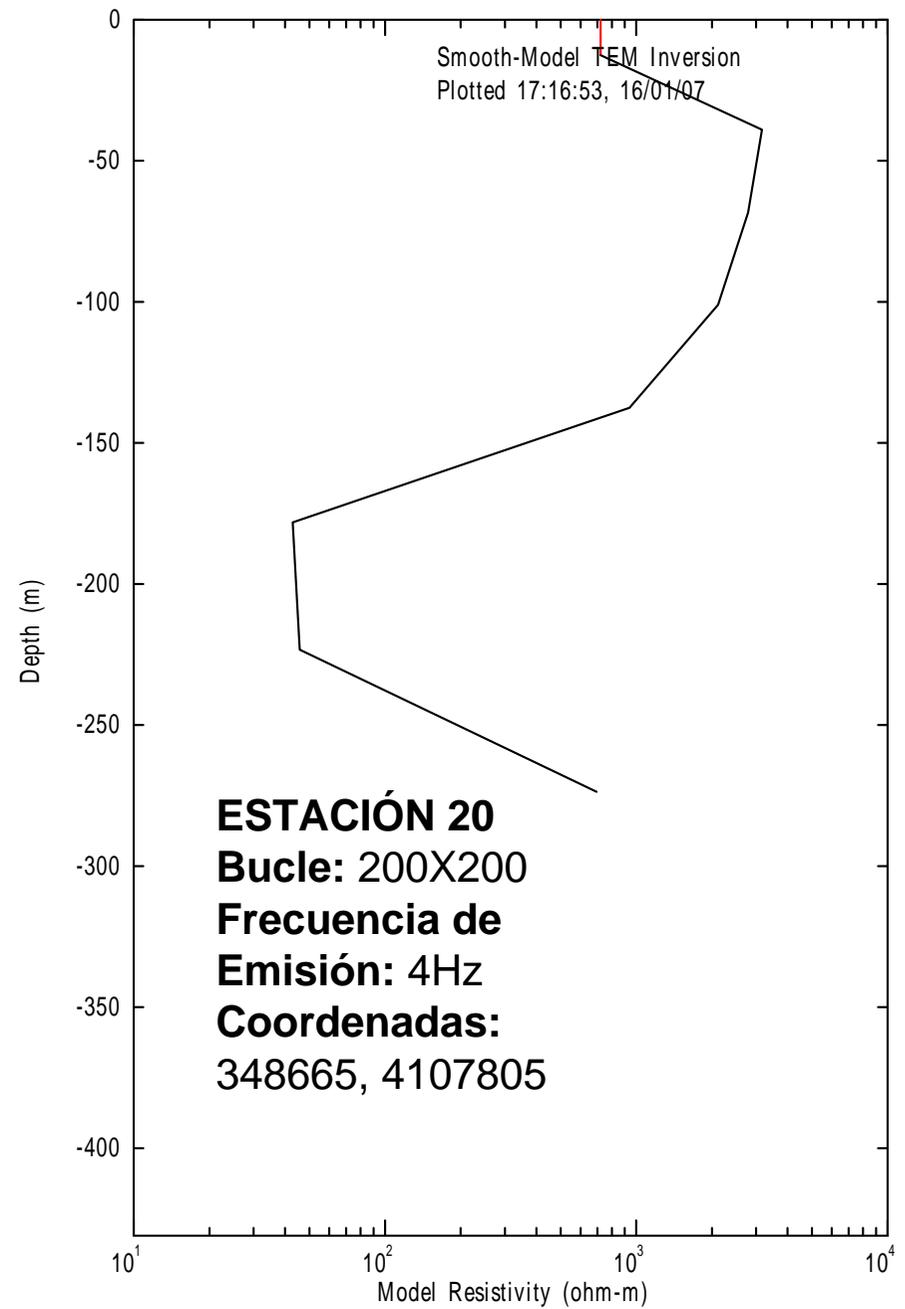
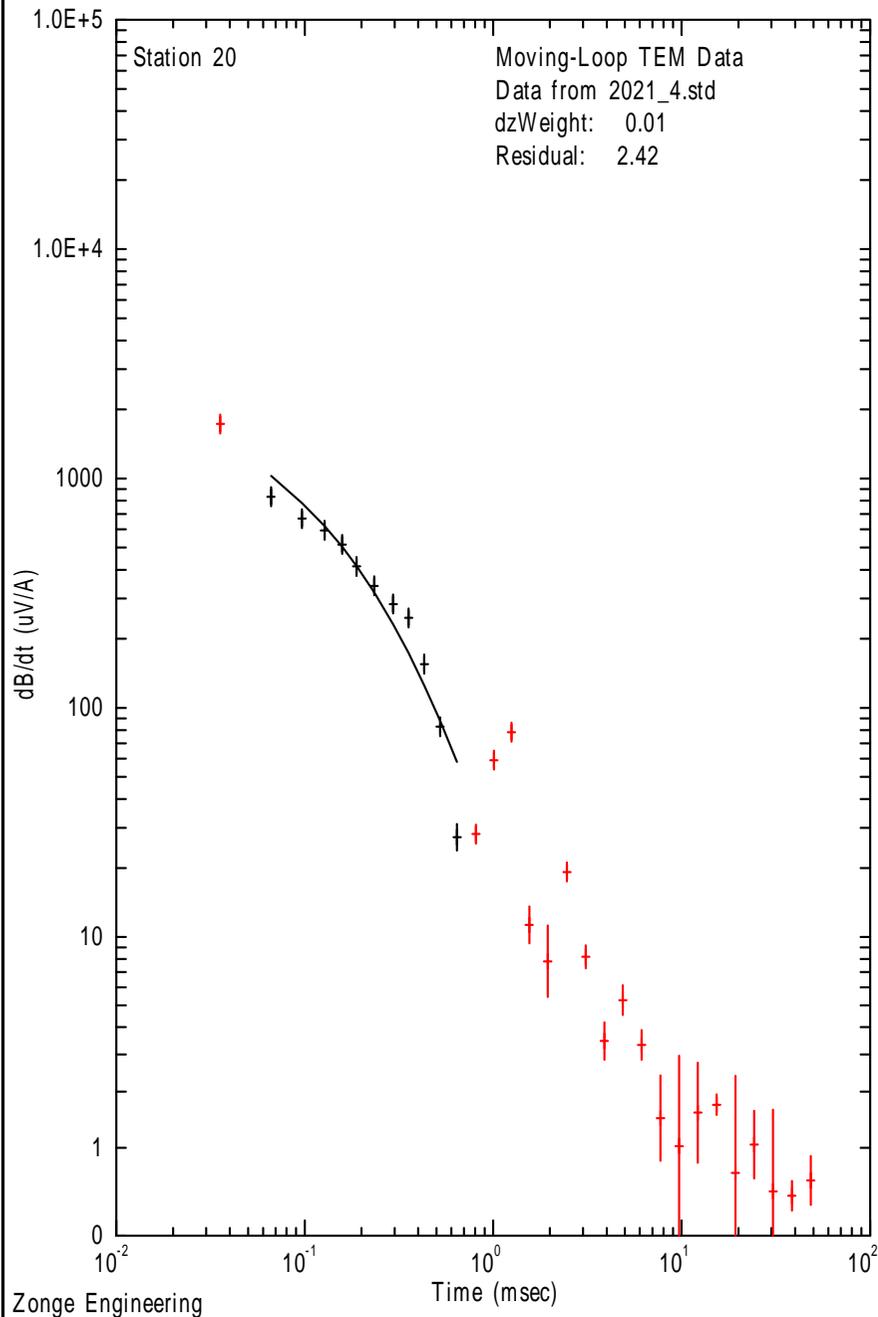


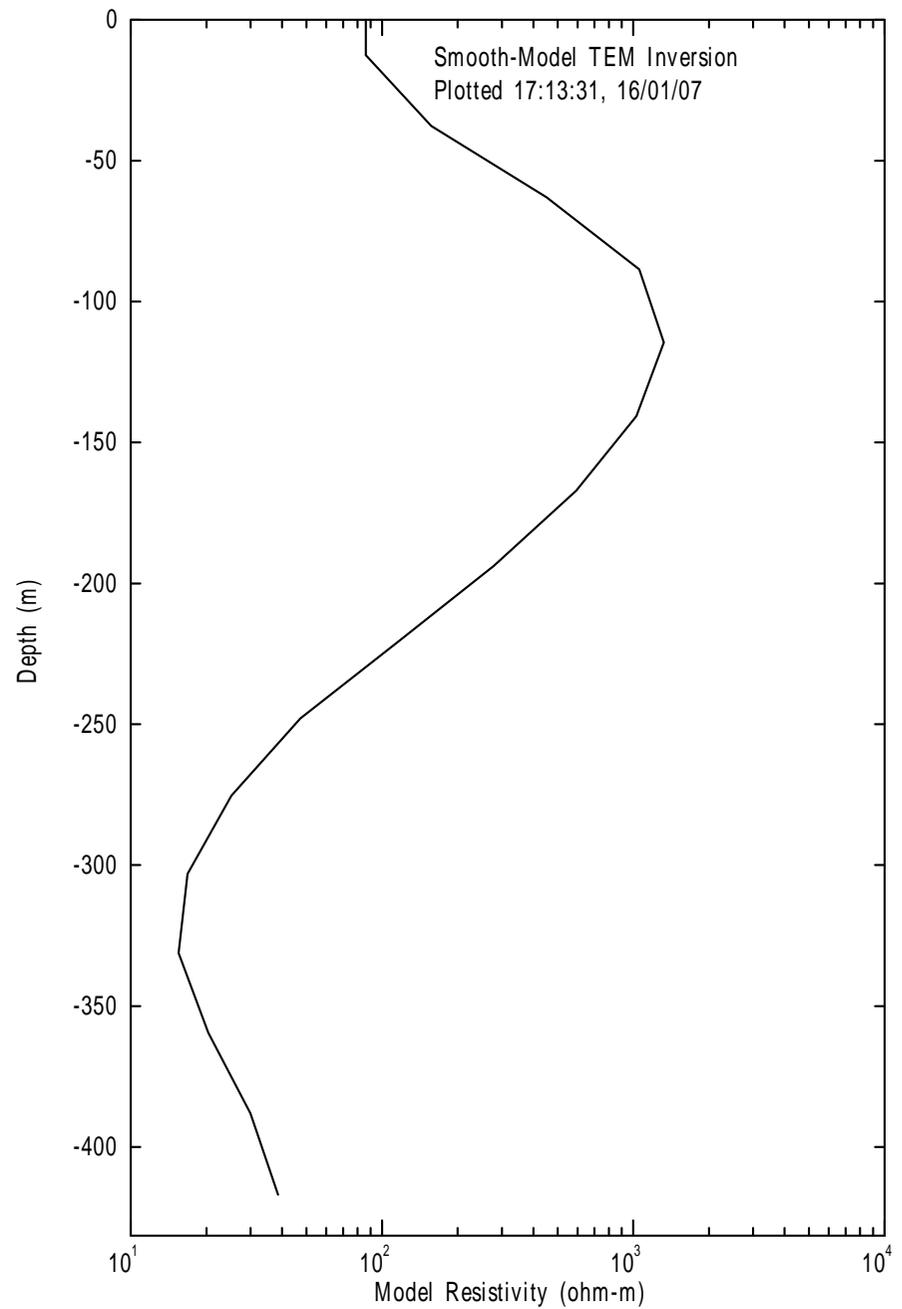
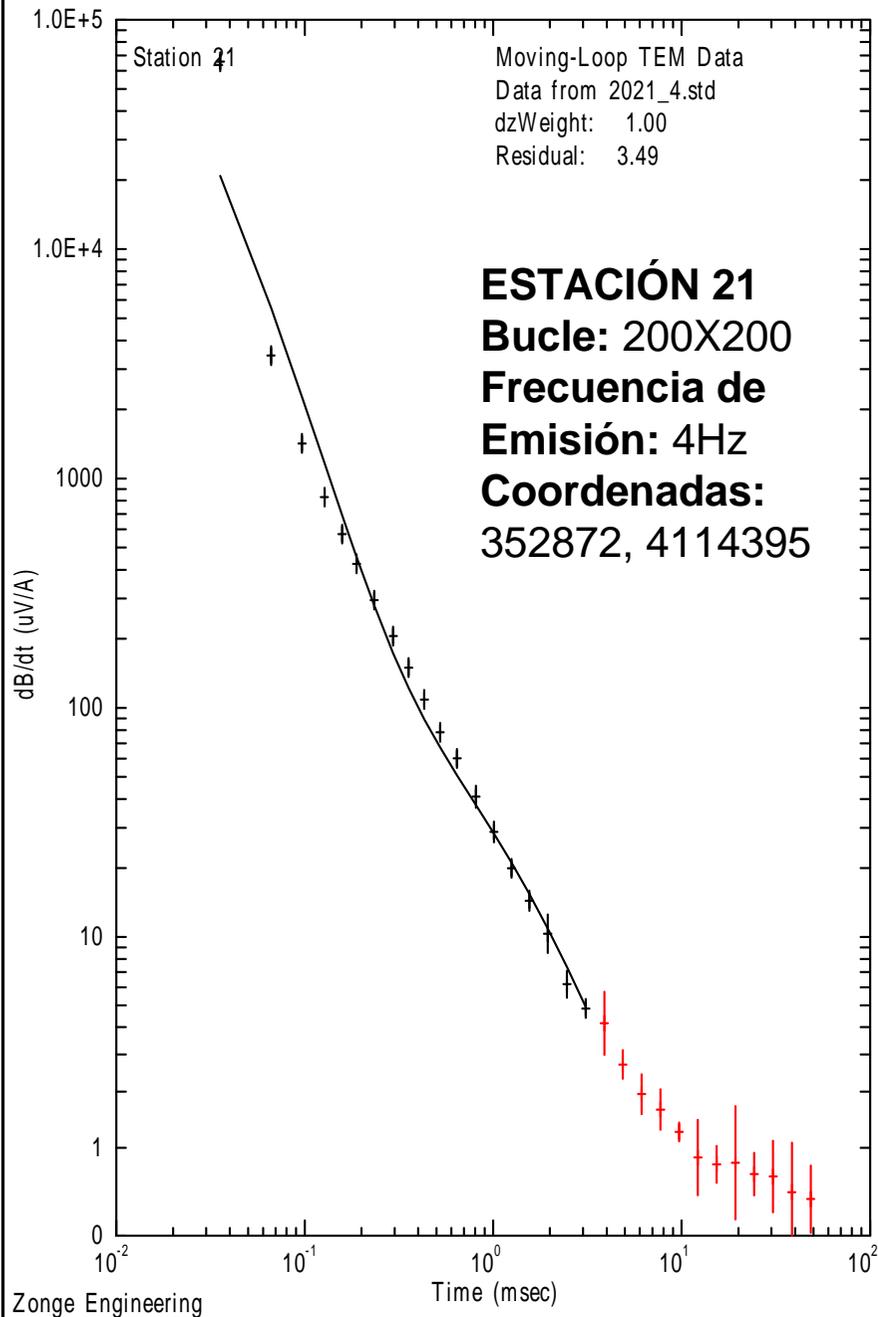














APÉNDICE E: Reportaje fotográfico

EQUIPO EN LAGUNA



OPERARIO MIDIENDO



OPERARIO CON EQUIPO



ESTUDIO:

ESTUDIO MEDIANTE SONDEOS ELECTROMAGNETICOS EN EL DOMINIO DE TIEMPOS CON FINES HIDROGEOLOGICOS.

FECHA:

AGOS.-NOV. 2006

VISTA DE LA LAGUNA



GDP- 32



MEDIDA EN MITAD DE LA LAGUNA



ESTUDIO:

ESTUDIO MEDIANTE SONDEOS ELECTROMAGNETICOS EN EL DOMINIO DE TIEMPOS CON FINES HIDROGEOLOGICOS.

FECHA:

AGOS.-NOV. 2006

EQUIPO EN CAMPO



EQUIPO COMPLETO EN CAMPO



ESQUINA DEL BUCLE CON TRANSMISOR



ESTUDIO:

ESTUDIO MEDIANTE SONDEOS ELECTROMAGNETICOS EN EL DOMINIO DE TIEMPOS CON FINES HIDROGEOLOGICOS.

FECHA:

AGOS.-NOV. 2006

SIERRA HUMILLADERO



SIERRA MOLLINA



ESTUDIO:

ESTUDIO MEDIANTE SONDEOS ELECTROMAGNETICOS EN EL DOMINIO
DE TIEMPOS CON FINES HIDROGEOLOGICOS.

FECHA:

AGOS.-NOV. 2006