

tipo de letra "八", cuyo centro está en la parte profunda de la estación de medición 10.

Se extiende la zona de FE alto en la parte profunda de la estación 22. En el análisis de simulación, se puso la fuente anómala vertical en forma de tabla en la parte profunda de las estaciones 6 y 23.

(LINEA DE MEDICION C)

Se extiende una zona de baja resistividad notable, cuyo centro está en la estación 10 de la zona oeste desde la parte poco profunda hasta la parte profunda.

Se extiende la zona de FE alto de más de 4%, en la parte profunda de alrededor de la estación 0, y desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 4~14, y se puede decir que es una anomalía de tipo "八" como la estación de medición 18.

Se reconoce la zona de FE alto de más de 4% en la parte profunda, cuyo centro está alrededor de la medición 25.

(LINEA DE MEDICION D)

Se atraviesa el yacimiento de Armas en las estaciones de las líneas 6~10 de la parte oeste de la línea de medición.

Se extiende la zona de baja resistividad notable desde la parte poco profunda hasta la profunda de la estación 4~12.

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en la parte profunda, cuyo centro está en la estación 24.

Se extiende la zona de FE alto notable, desde la parte poco profunda hasta la profunda de la estación de medición 10.

Se extiende la zona de FE alto notable, desde la parte poco profunda hasta la parte profunda de las estaciones 20~34.

Se extiende la zona de FE alto de más de 3 %, en la parte profunda de la estación 38.

Se puso la fuente anómala vertical en forma de tabla en la parte poco profunda de las estaciones de medición 10~14 y 28~30.

(LINEA DE MEDICION E)

Se atraviesa el yacimiento de Armas en las estaciones 8~10 de la parte oeste de la línea.

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$ , desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 6~14.

Se extiende una zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$ , en la parte profunda de las estaciones 24~36.

Se extiende la zona de FE alto de más de 5%, desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 6~16.

Se reconoce la zona anómala de tipo "八", alrededor de la estación 30.

Se extiende la zona de FE alto en la parte profunda de las estaciones 38 y 40.

(LINEA DE MEDICION F)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 8~14.

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  desde la parte poco profunda hasta la profunda de la estación de medición 30~38.

Se reconoce la anomalía de tipo "八", cuyo centro está alrededor de la estación de medición 8.

Se extiende una zona de FE alto de más de 5 %, en la parte profunda de las estaciones 26~42.

(LINEA DE MEDICION G)

Se atraviesa el yacimiento de Ocavi en las estaciones de 8~14 de la parte oeste de la línea de medición.

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$ , desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 6~14.

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 30~40.

Se extiende la zona de FE alto de más de 5% en la parte profunda de las estaciones 32~34 y en la parte profunda de las estaciones 38~40.

(LINEA DE MEDICION H)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en la parte profunda de las estaciones 10~12.

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 30~44, especialmente se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $20 \Omega \cdot m$  alrededor de la estación de medición 10.

Se extiende la zona de FE alto notable, desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 26~50.

Se puso la fuente anómala vertical en forma de bloque en la parte poco profunda de las estaciones de medición 10 y 24~42.

(LINEA DE MEDICION I)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en la parte profunda de las estaciones 34~44.

Se extiende la zona de FE alto de menos de 5%, en la parte profunda de las estaciones 34~36 y 38~44.

(LINEA DE MEDICION J)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en la parte profunda de las estaciones 24 y 30~34.

Se extiende la zona de FE alto mas de 5 %, desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones de medición 28~44.

Se puso la fuente anómala vertical en forma de tabla, en la parte poco profunda de las estaciones 26~28, 32~34, 36 y 40~42.

Hay una posibilidad de yacimiento horizontal, porque la estación de medición 26 ~28 están separadas del yacimiento existente.

(LINEA DE MEDICION K)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en la zona profunda de la estación 28 y desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones de medición 36~44.

Se extiende la zona de FE alto de más de 5%, en la zona profunda de la estación 24 y desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 34~44.

(LINEA DE MEDICION L)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en la parte profunda de las estaciones 42~44.

Se extiende ampliamente la zona de Fe alto de más de 5%, en la parte profunda de las estaciones 34~46.

(LINEA DE MEDICION M)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en la parte profunda de las estaciones de medición 30~40.

Se extiende la zona de FE alto de 4~6 %, en la parte profunda de las estaciones 34~46.

(LINEA DE MEDICION N)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 38 ~46.

Se extiende la zona FE alto de más de 5 %, desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 32~46.

Se extiende la zona FE alto de más de 3 %, en la parte profunda de las estaciones 16~18.

(LINEA DE MEDICION O)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 40~46.

Se extiende la zona de FE alto de más de 4%, en la parte profunda, cuyo centro está en la estación de medición 14 y desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 20~24.

Se extiende ampliamente la zona de FE alto desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 32~48.

Se puso la fuente anómala vertical en forma de tabla en la parte profunda de las estaciones 12~14 y 36~38, y se calculó la existencia de fuente anómala extensa más allá del este de la estación 39.

(LINEA DE MEDICION P)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 42~46.

Se extiende la zona de FE alto de más de 4%, desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 18~26 y 34~48.

Se puso la fuente anómala vertical en forma de tabla desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 18~22, 28~30 y 40~44.

Se merece la atención en el yacimiento de la veta vertical en las estaciones 18~22.

(LINEA DE MEDICION Q)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos  $100 \Omega \cdot m$  desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 16~22.

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 40~44.

Se extiende la zona de FE alto de más de 4%, desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 18~24 y 38~44.

Se puso la fuente anómala vertical en forma de tabla desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 16~20, 38~42.

Se piensa un yacimiento de veta vertical en las estaciones 16~20.

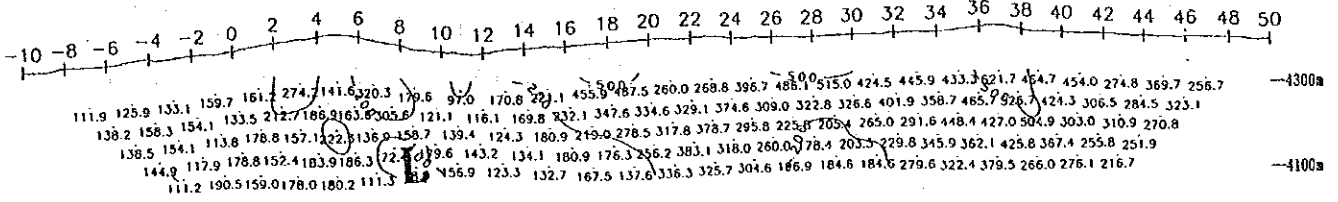
(LINEA DE MEDICION R)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 40~48.

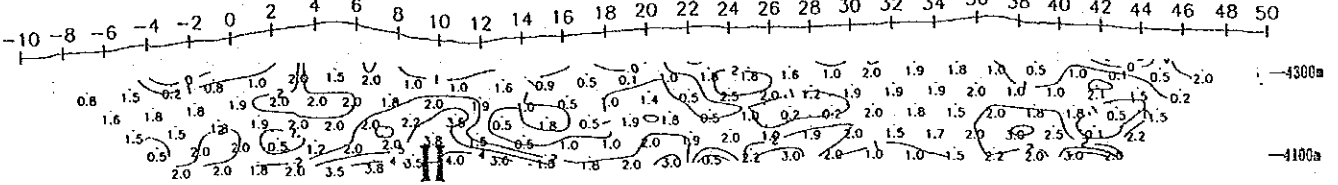
Se extiende la zona de FE alto de más de 4%, en la parte profunda de las estaciones 22~26 y desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 30~44.

Se puso la fuente anómala vertical en forma de tabla desde la parte poco profunda hasta la profunda de las estaciones 20~26 y 36~40.

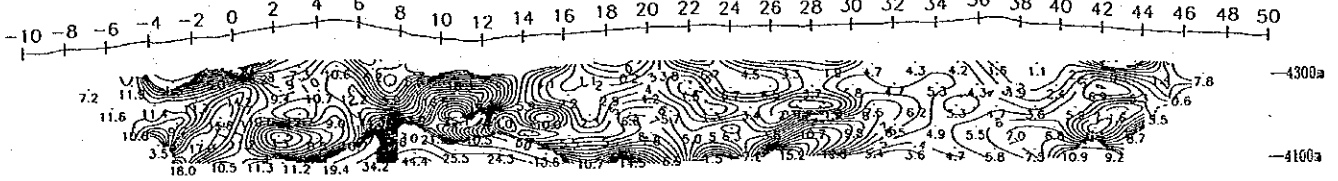
AR ( $\Omega \cdot m$ )



FE (%)



MCF



Cuerpos respondientes  
Pl con la geología

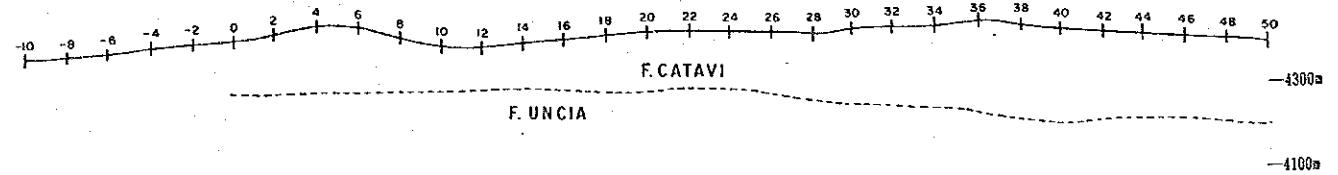
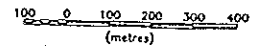


Fig. II-2-7 Perfiles de la línea A



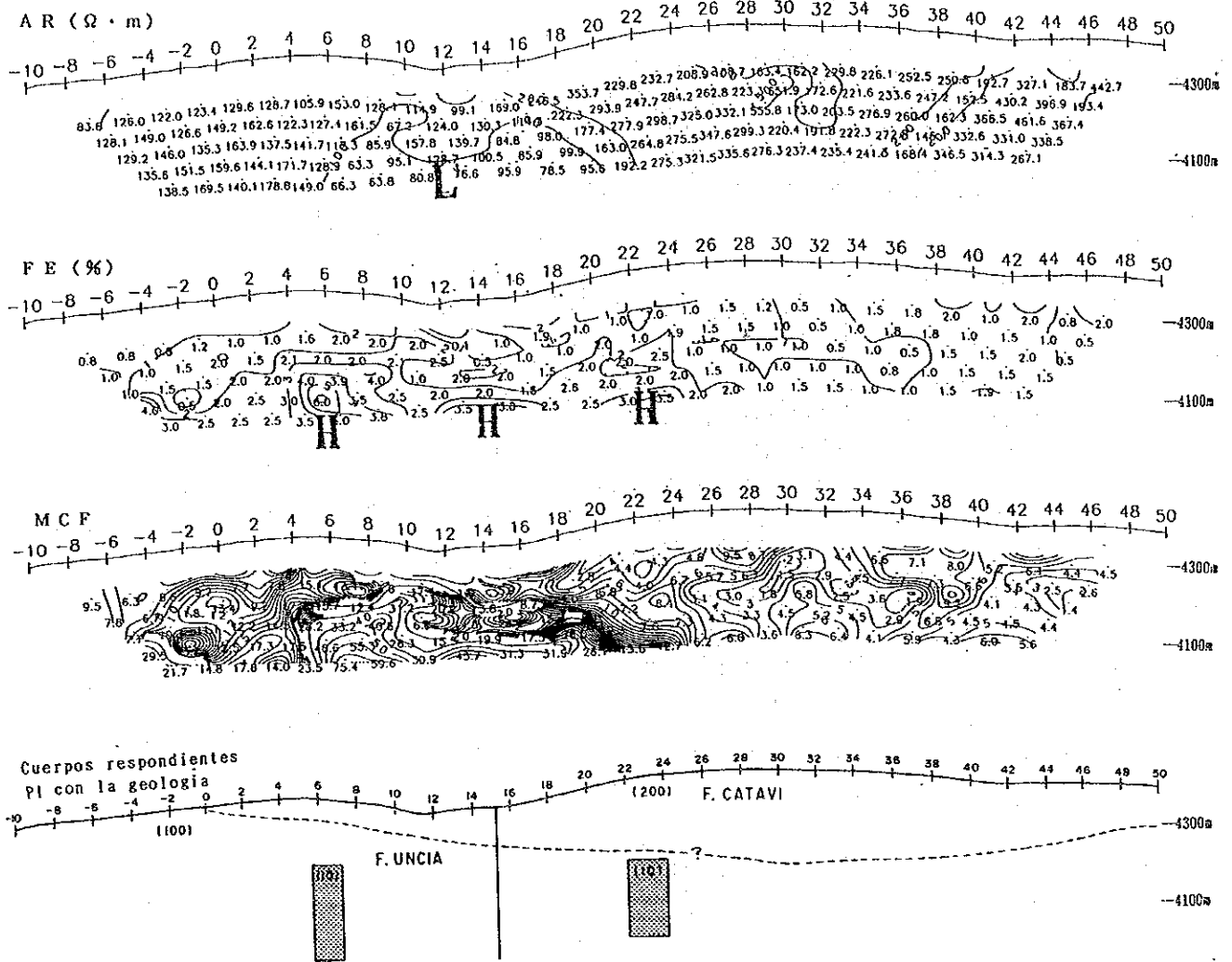


Fig. II -2- 8 Perfiles de la línea B

100 0 100 200 300 400  
(metros)

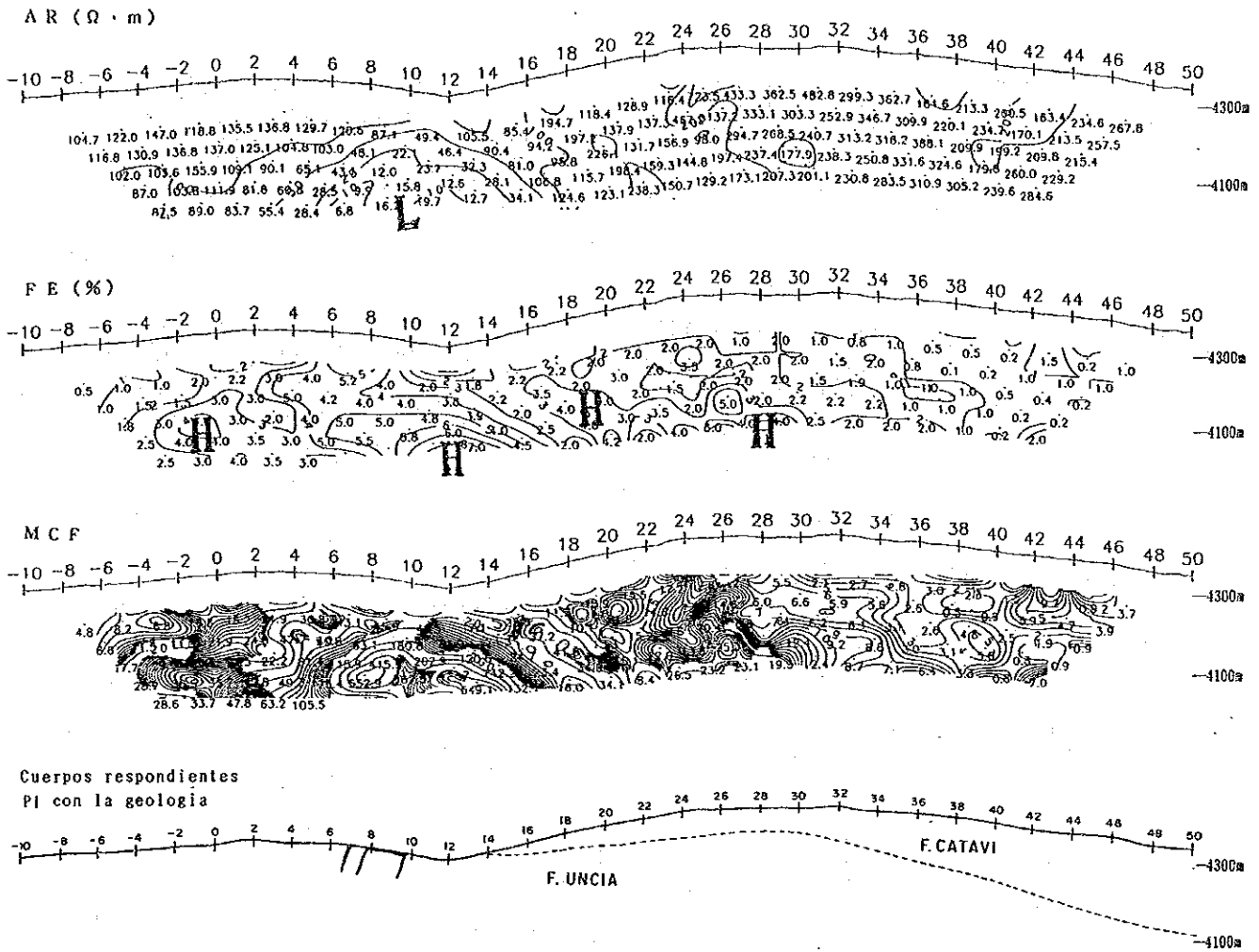


Fig. II-2-9 Perfiles de la línea C

100 0 100 200 300 400  
(metres)

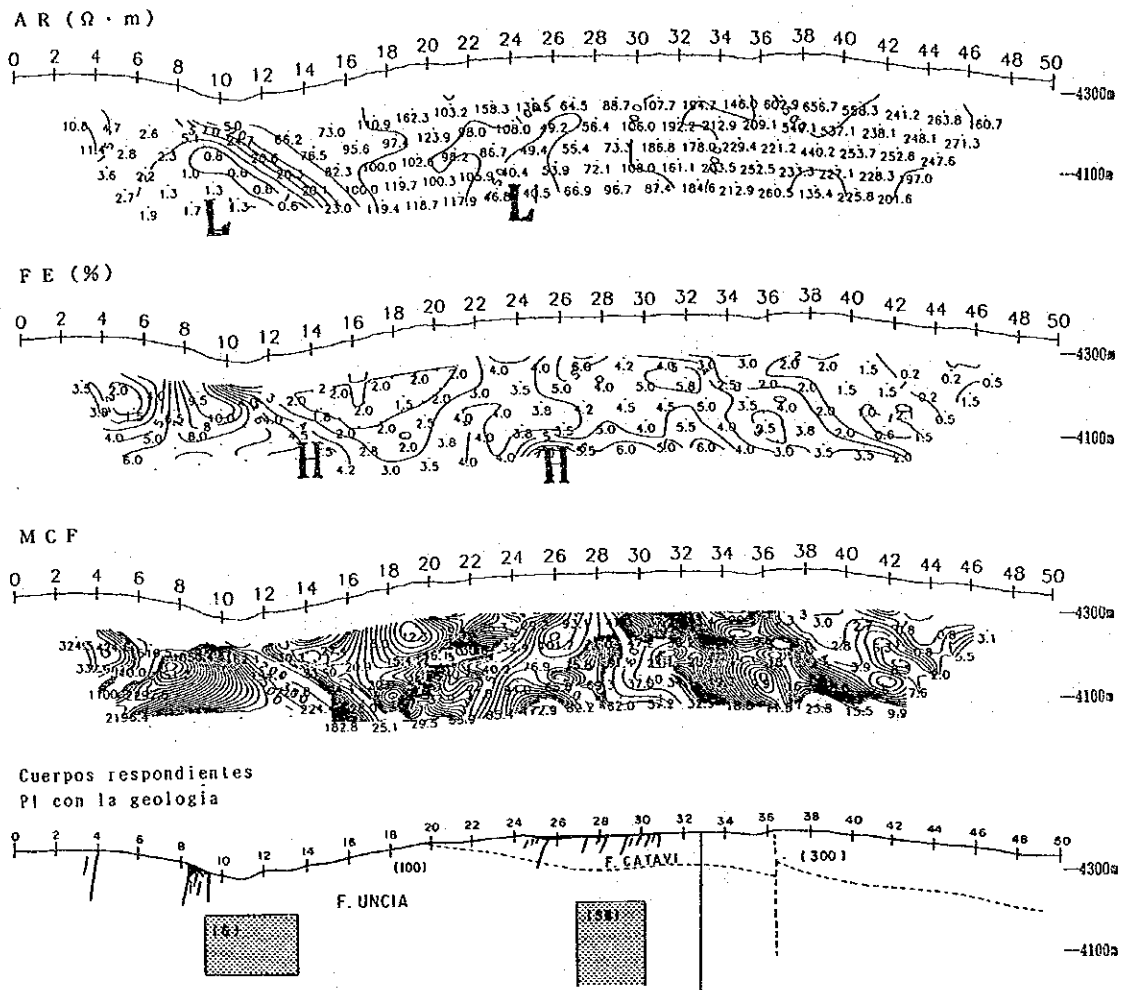
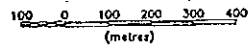


Fig. H -2-10 Perfiles de la línea D





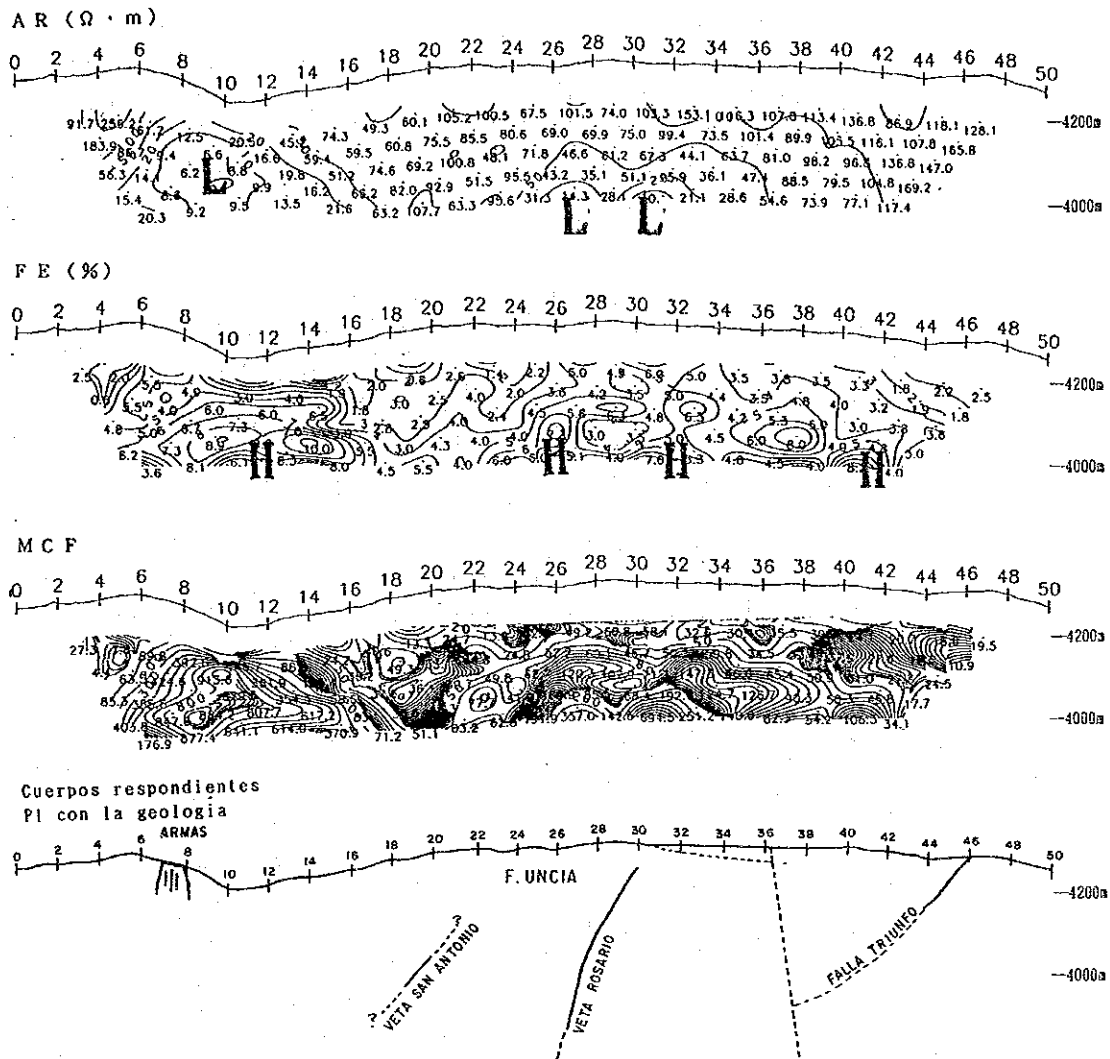


Fig. II -2-11 Perfiles de la línea E

100 0 100 200 300 400  
(metros)

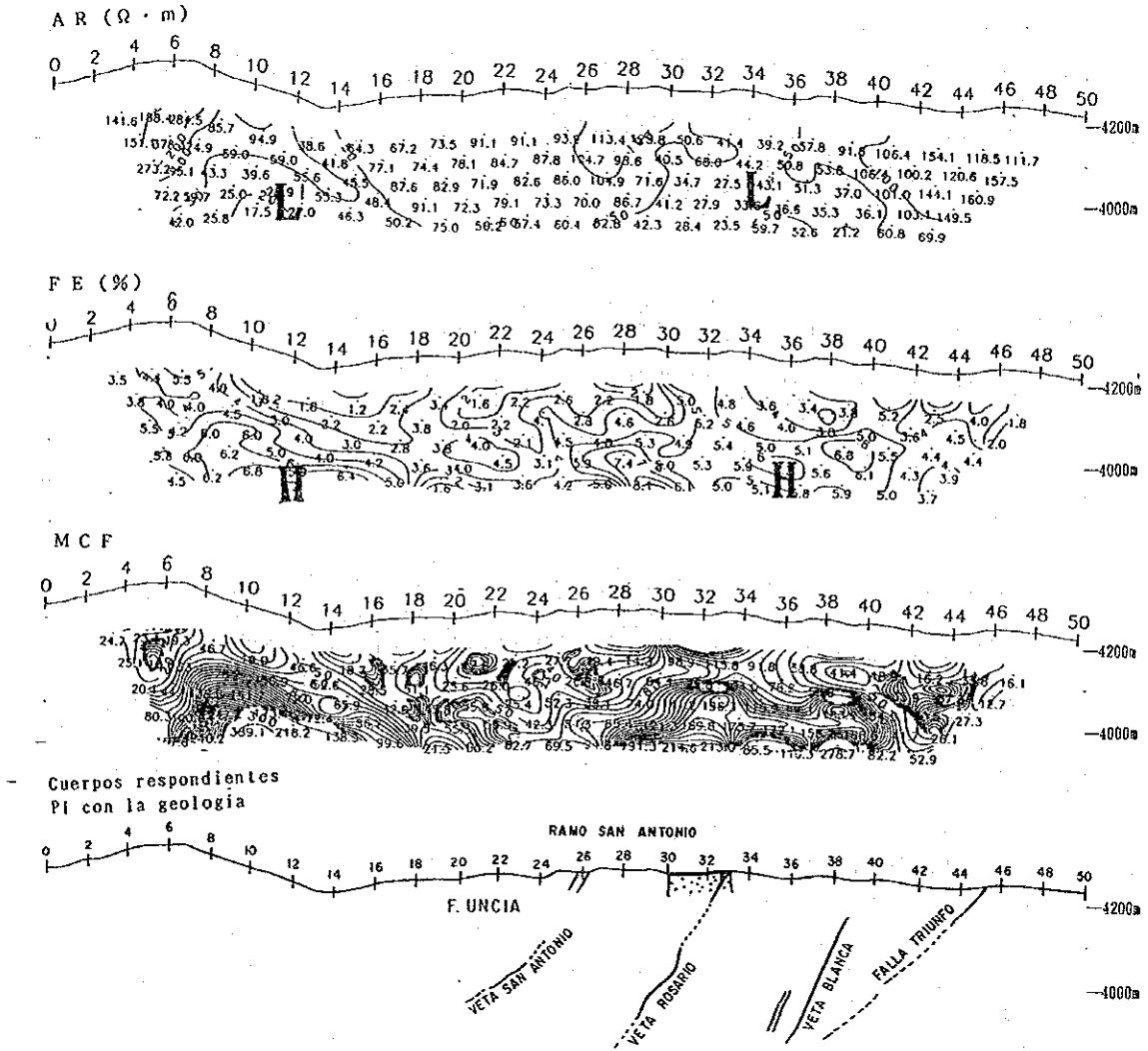
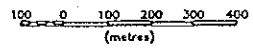


Fig. H -2-12 Perfiles de la línea F



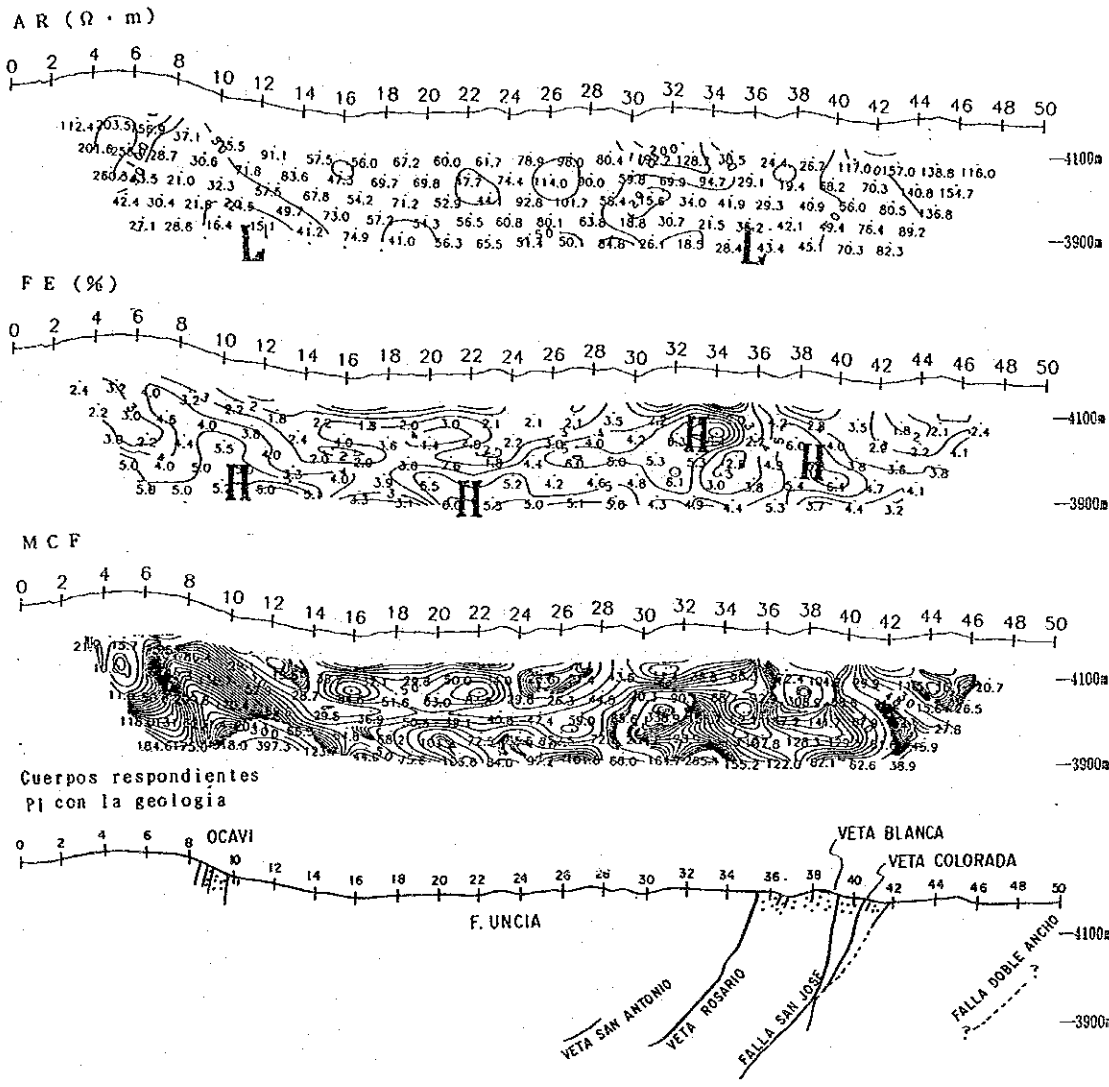
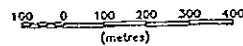


Fig. II -2-13 Perfiles de la línea G



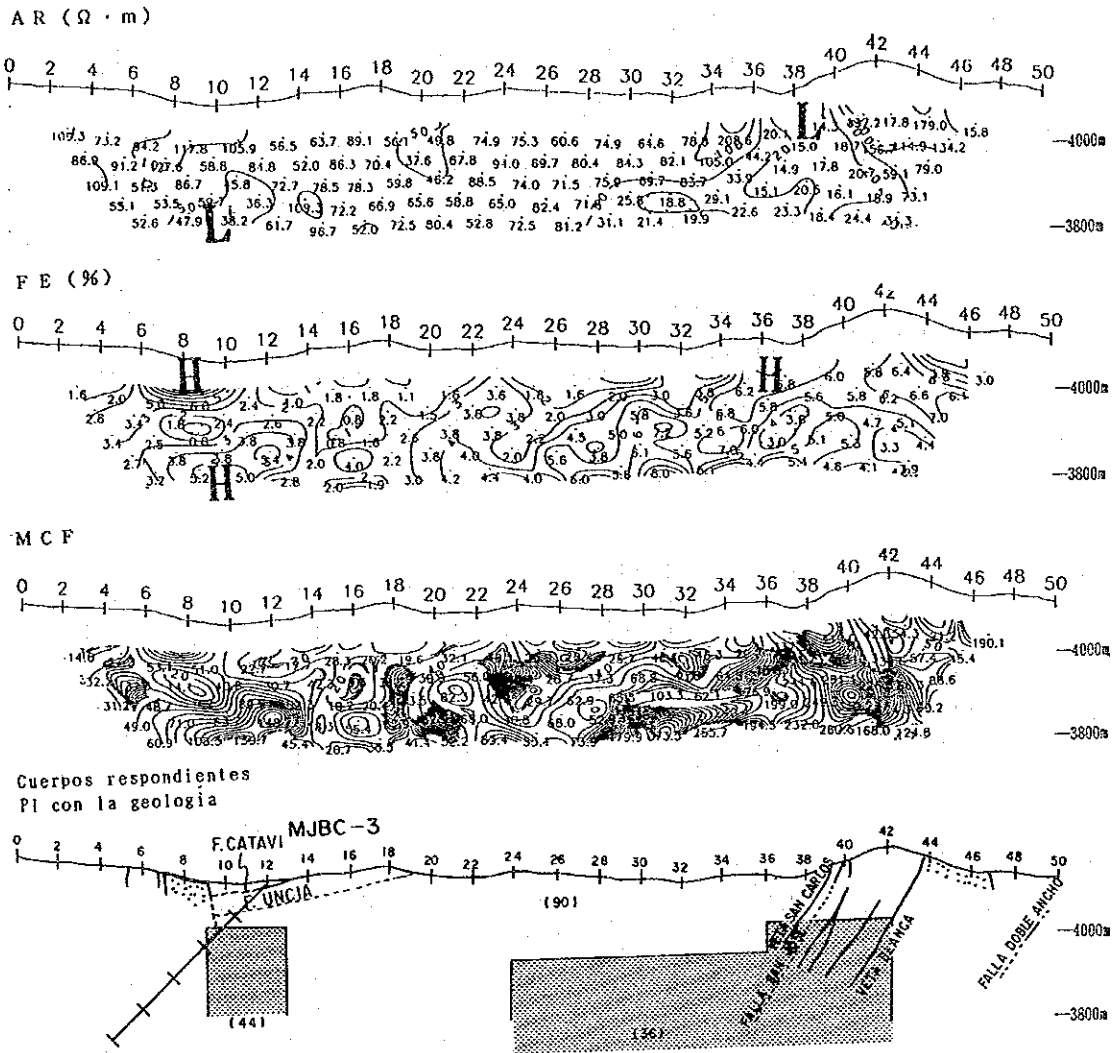


Fig. II -2-14 Perfiles de la línea H

100 0 100 200 300 400  
(metres)

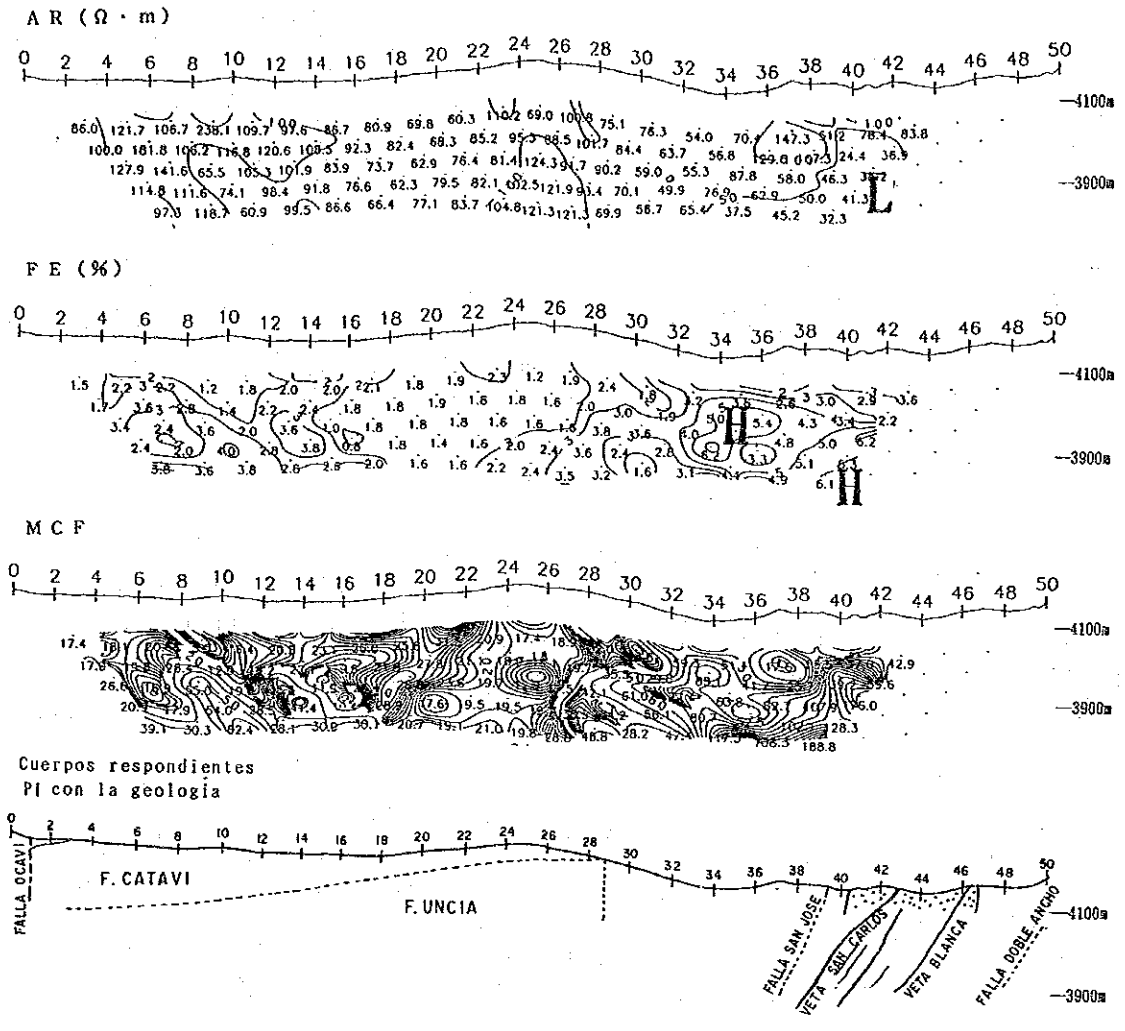
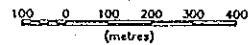


Fig. II -2-15 Perfiles de la línea I



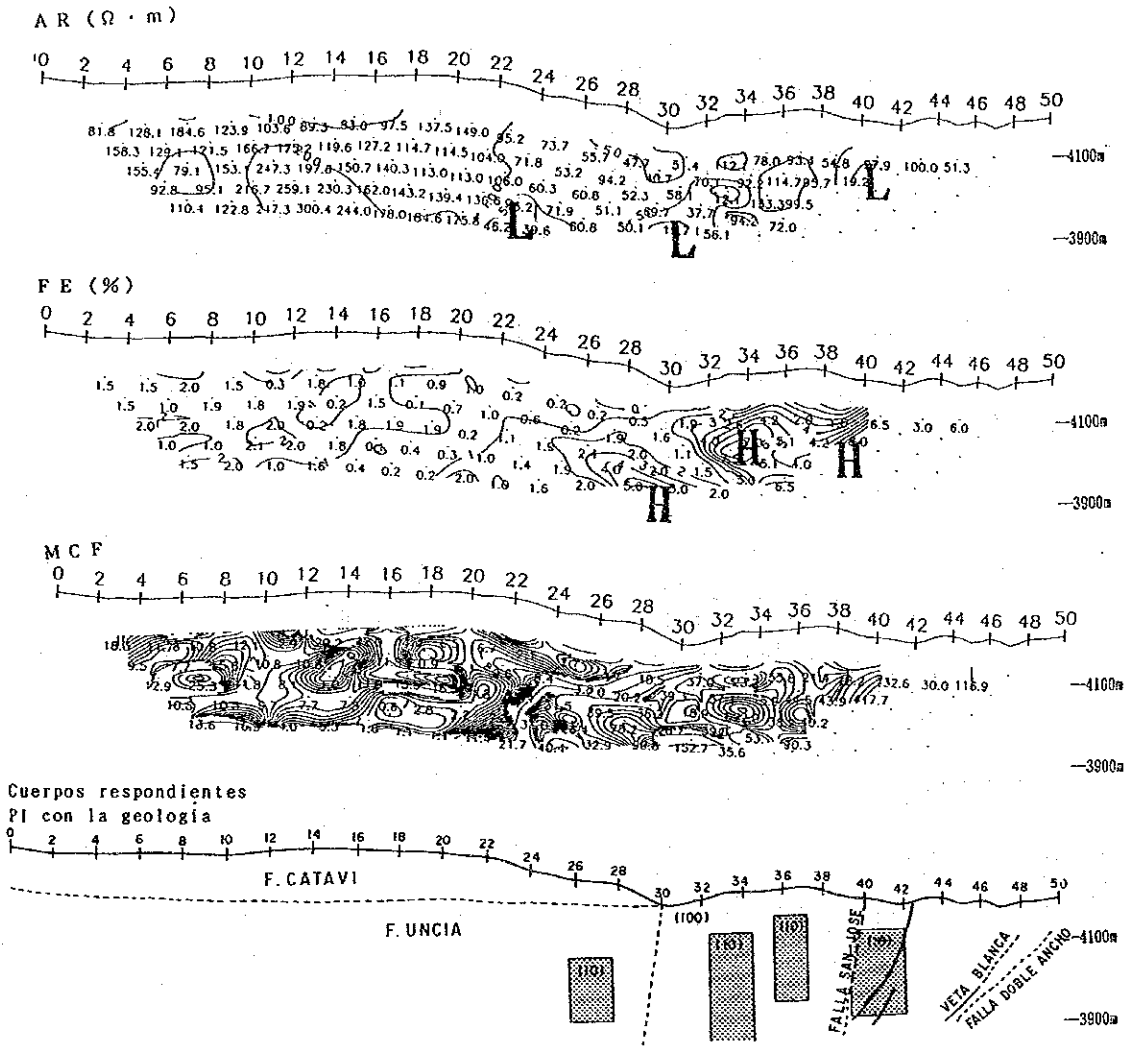
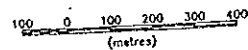


Fig. II -2-16 Perfiles de la línea J



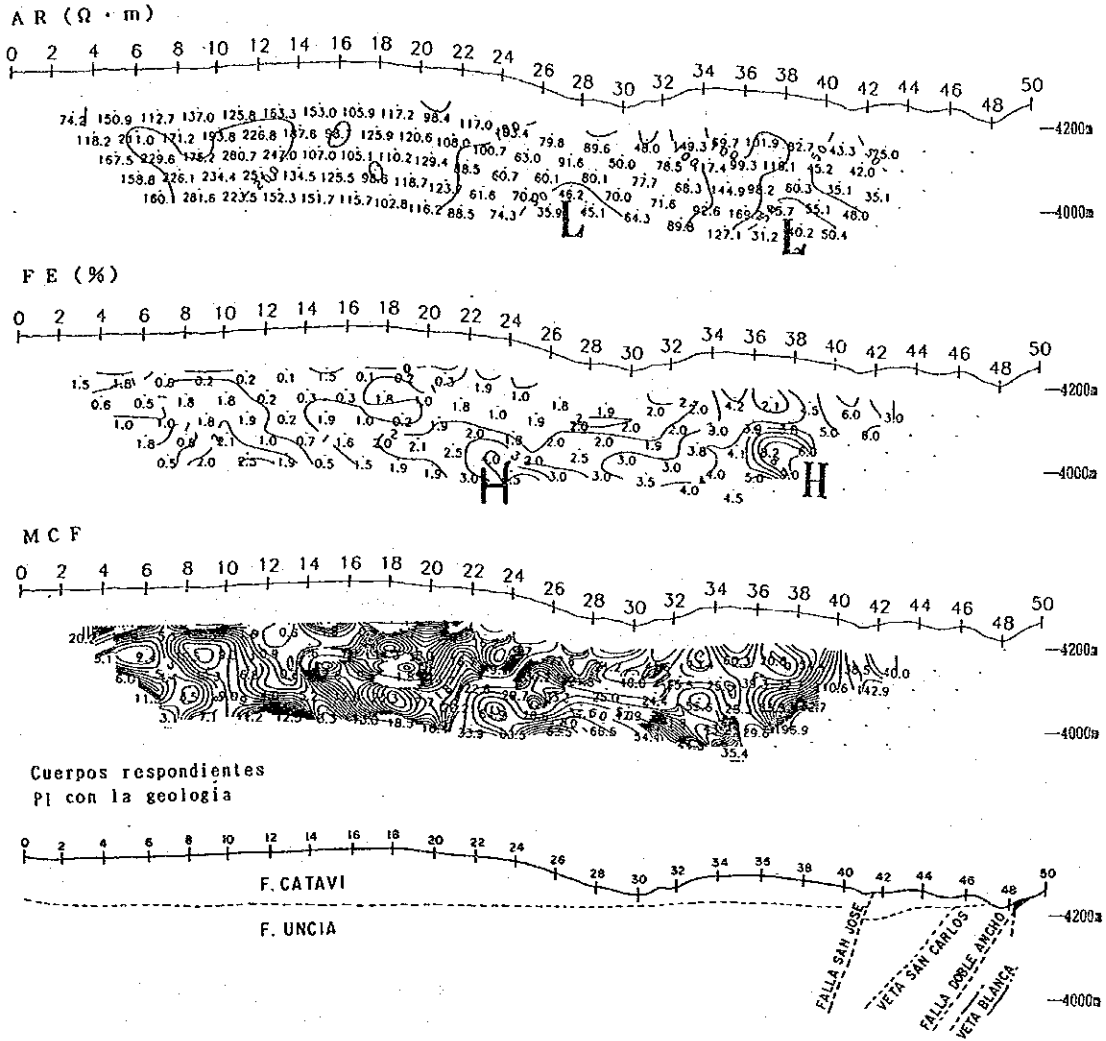
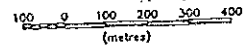


Fig. II -2-17 Perfiles de la línea K



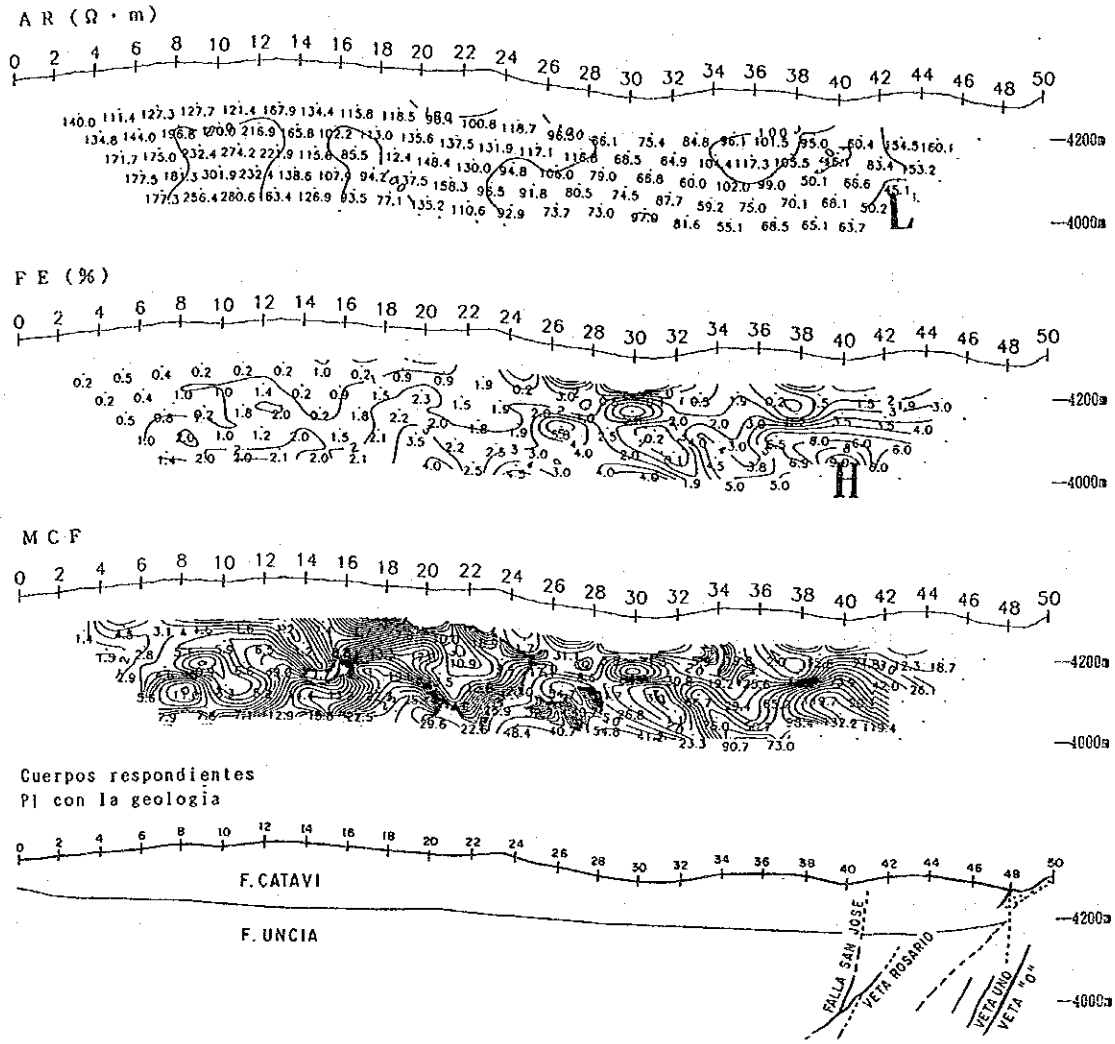
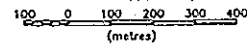


Fig. II -2-18 Perfiles de la línea L





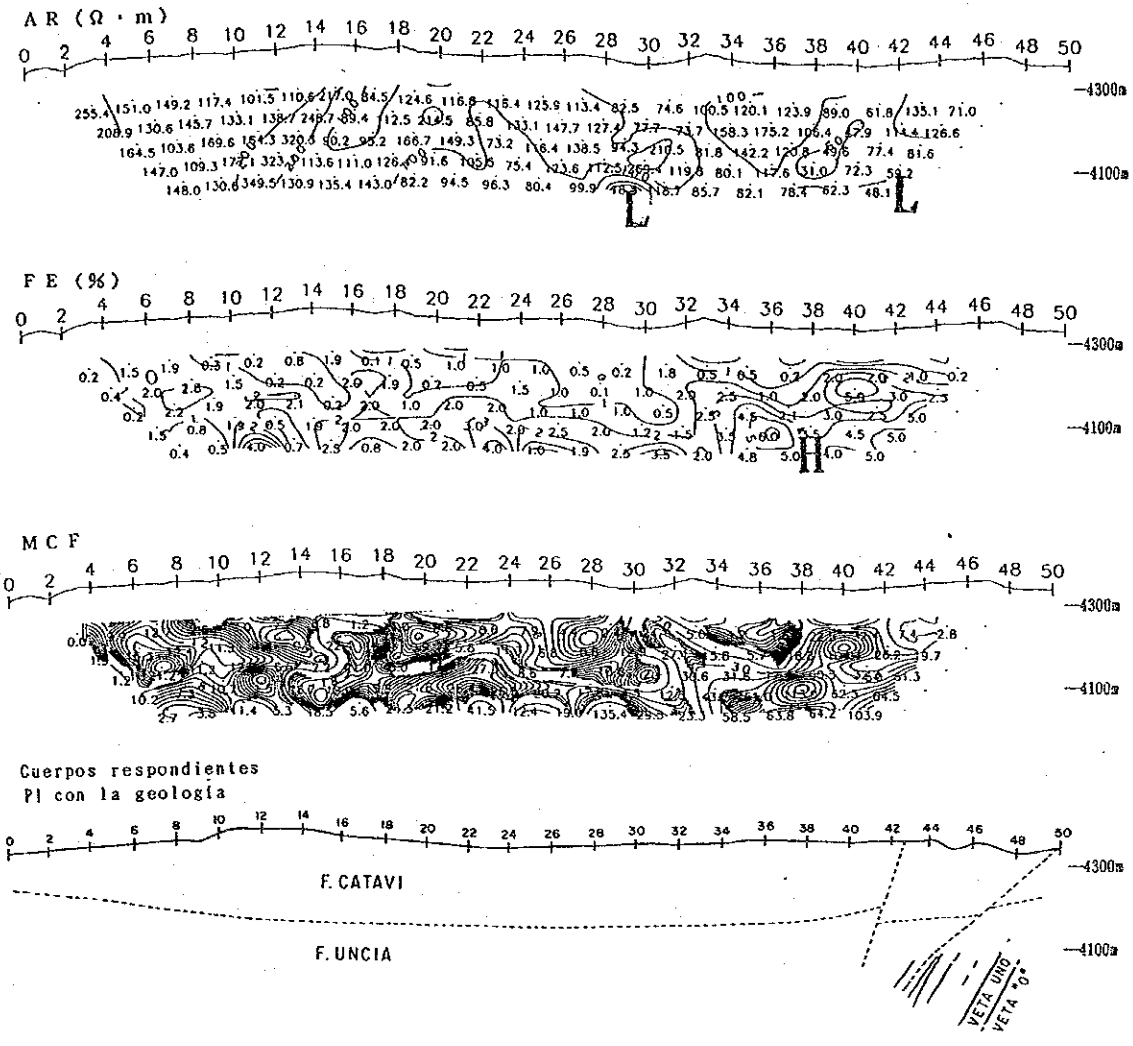
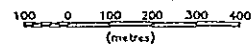


Fig. II -2-19 Perfiles de la línea M



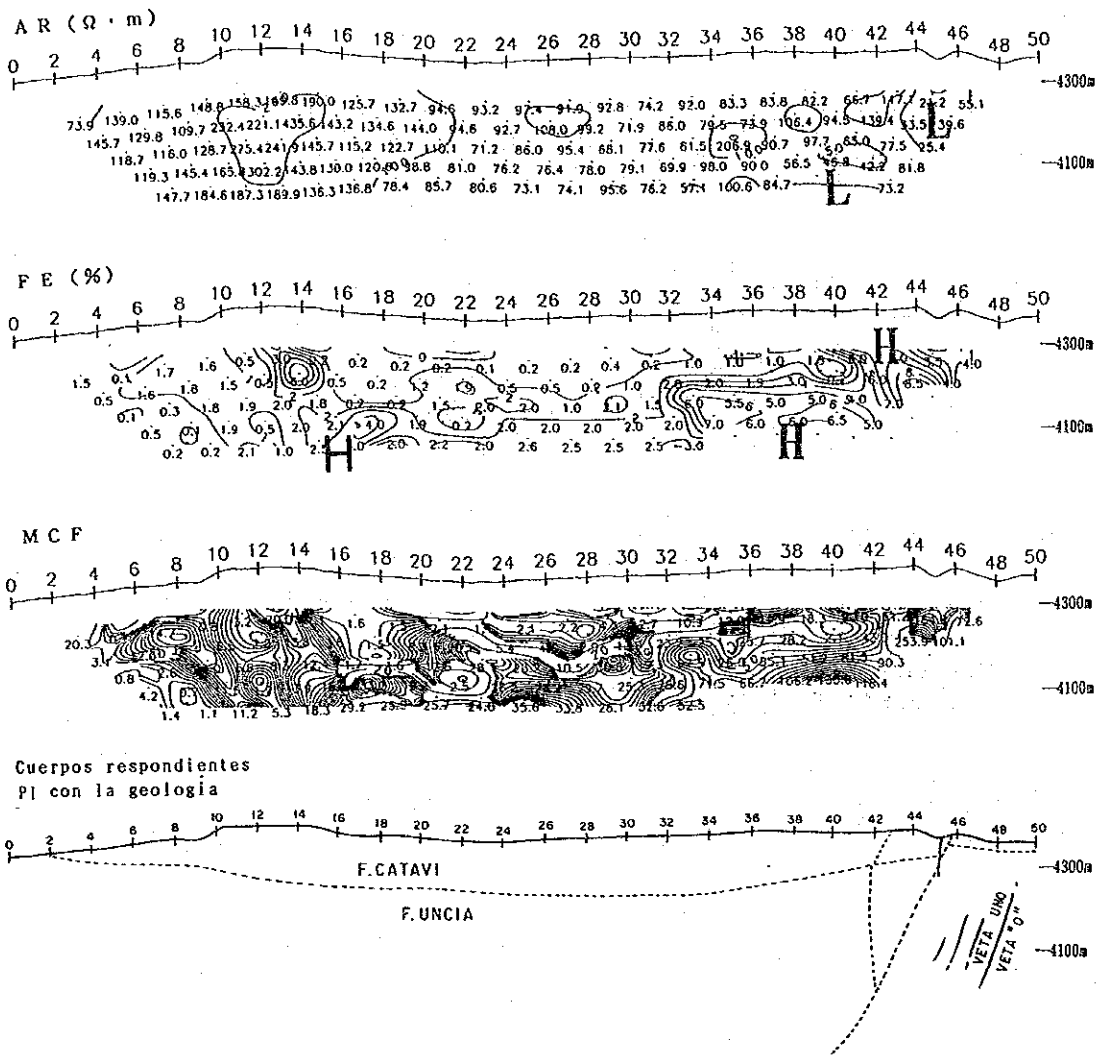


Fig. II -2-20 Perfiles de la línea N

100 0 100 200 300 400  
(metros)

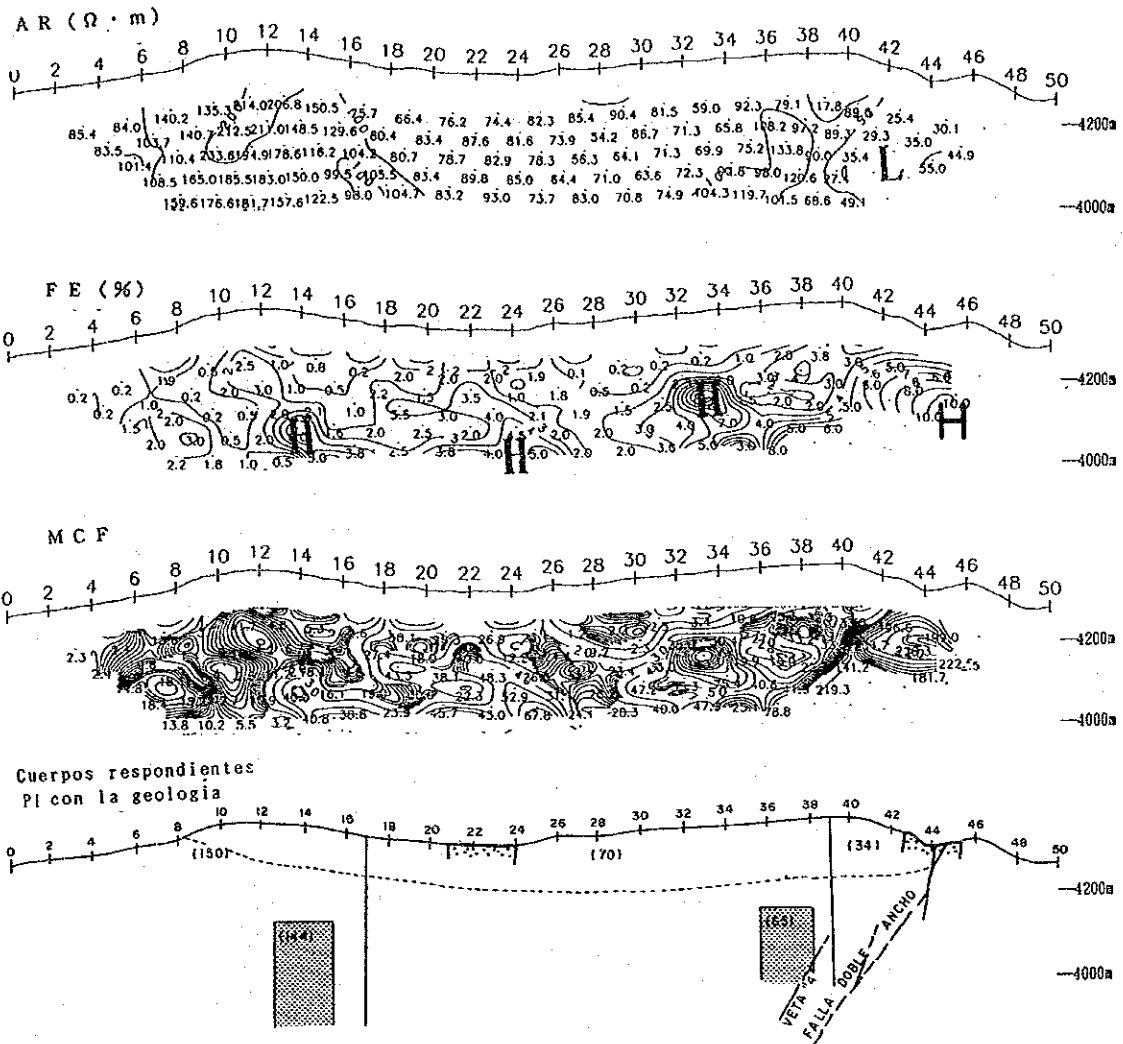


Fig. II -2-21 Perfiles de la línea 0

100 0 100 200 300 400  
(metros)

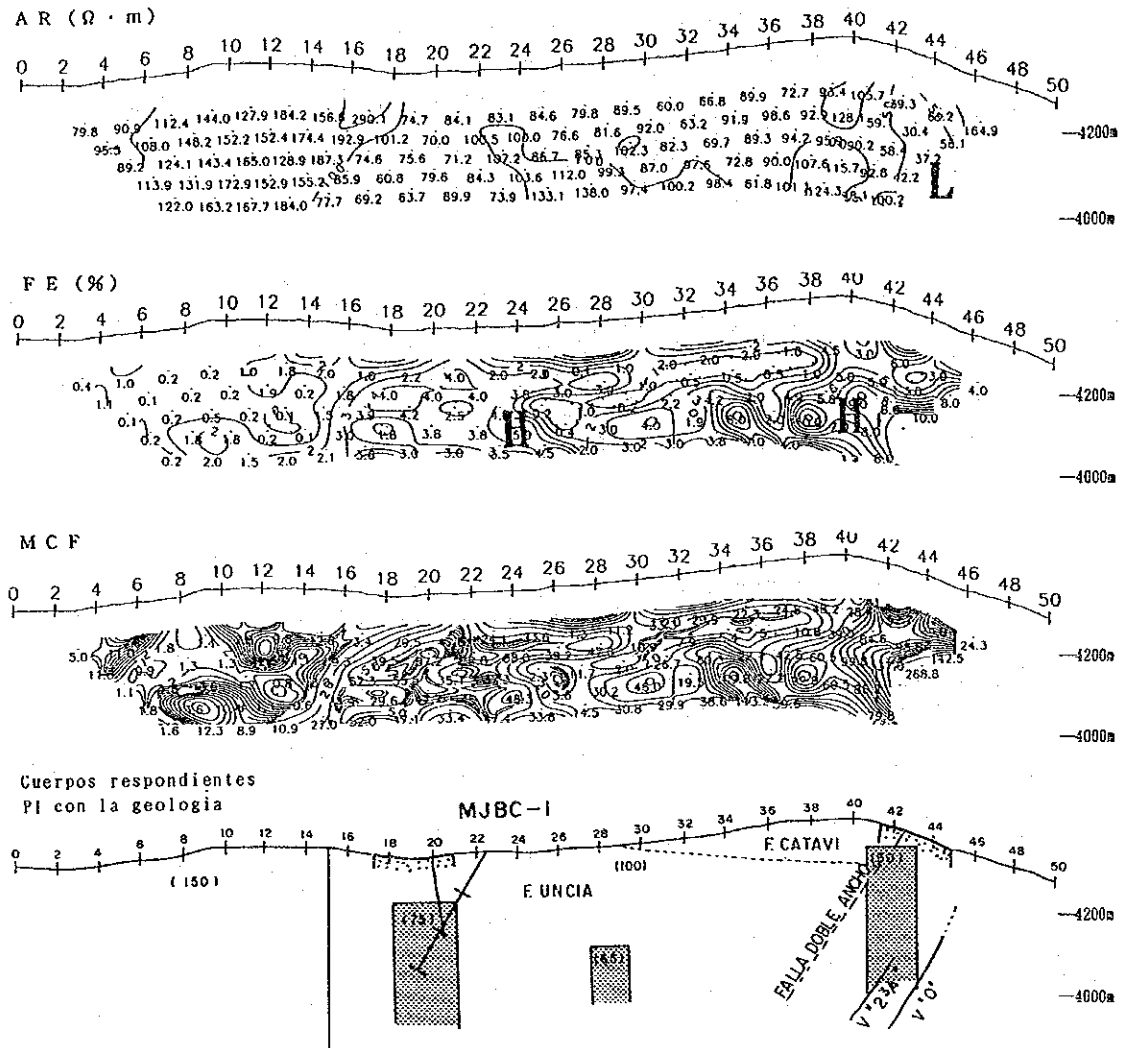
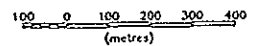


Fig. II -2-22 Perfiles de la línea P



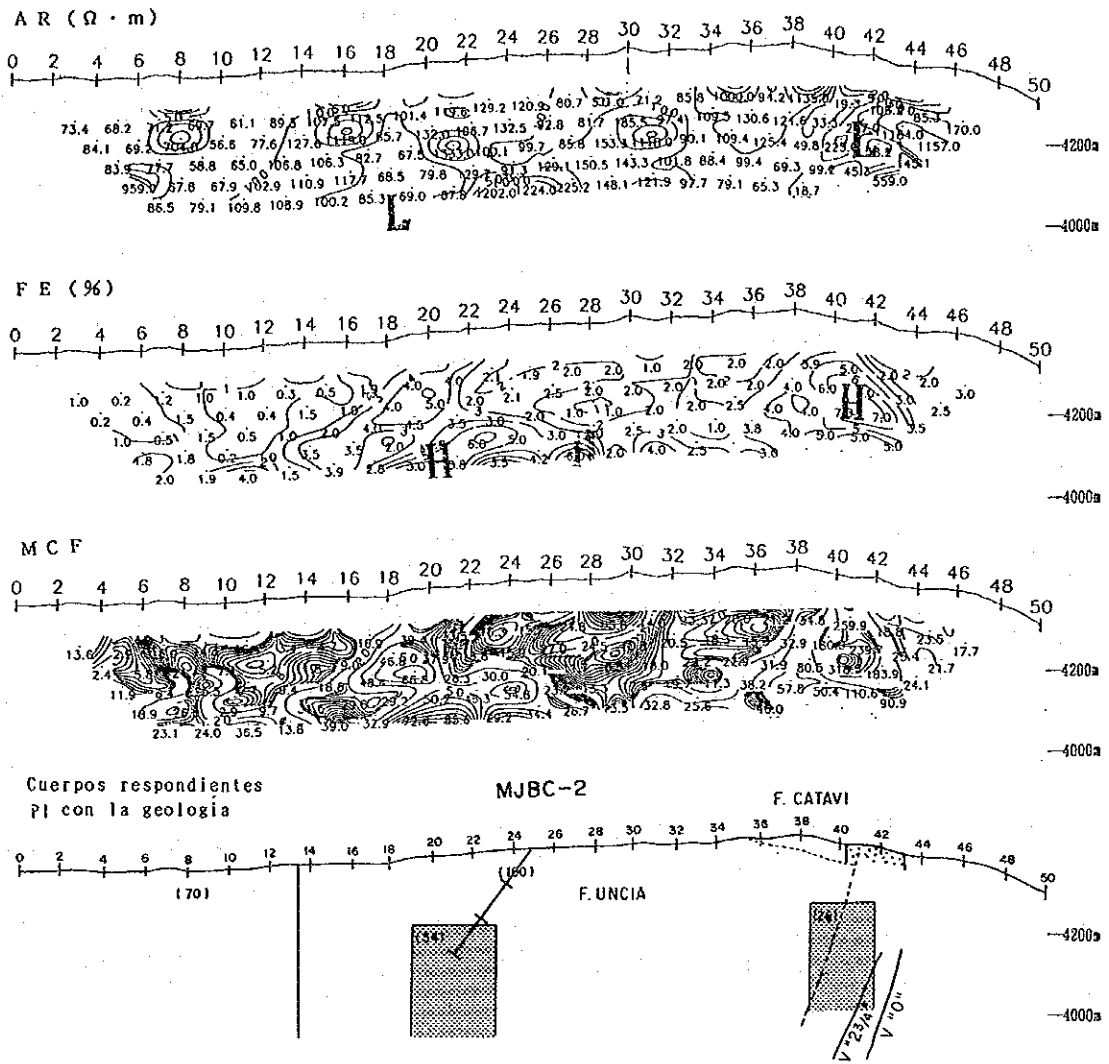
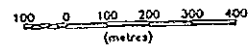


Fig. II -2-23 Perfiles de la línea Q



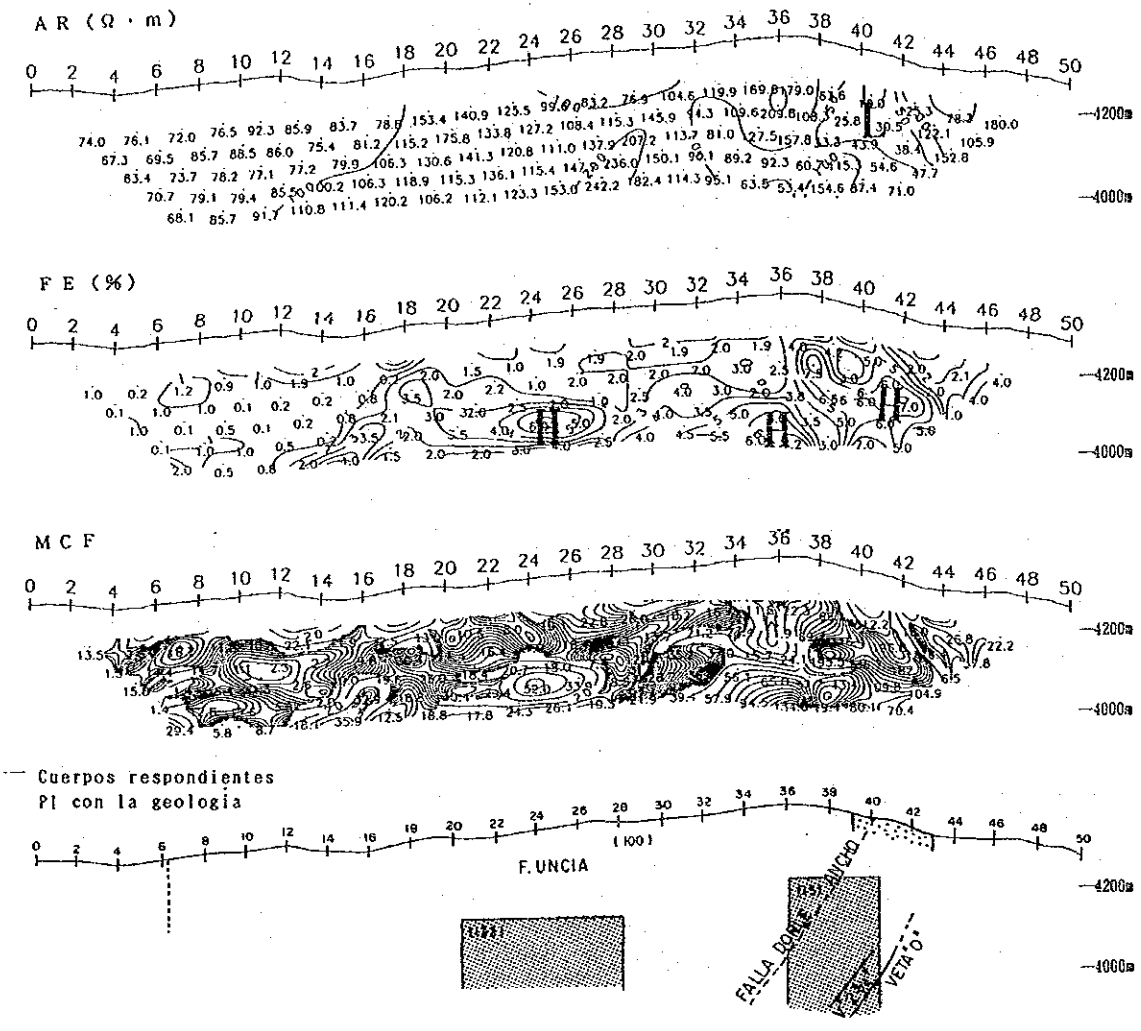
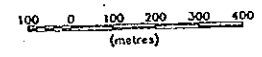


Fig. II -2-24 Perfiles de la línea R



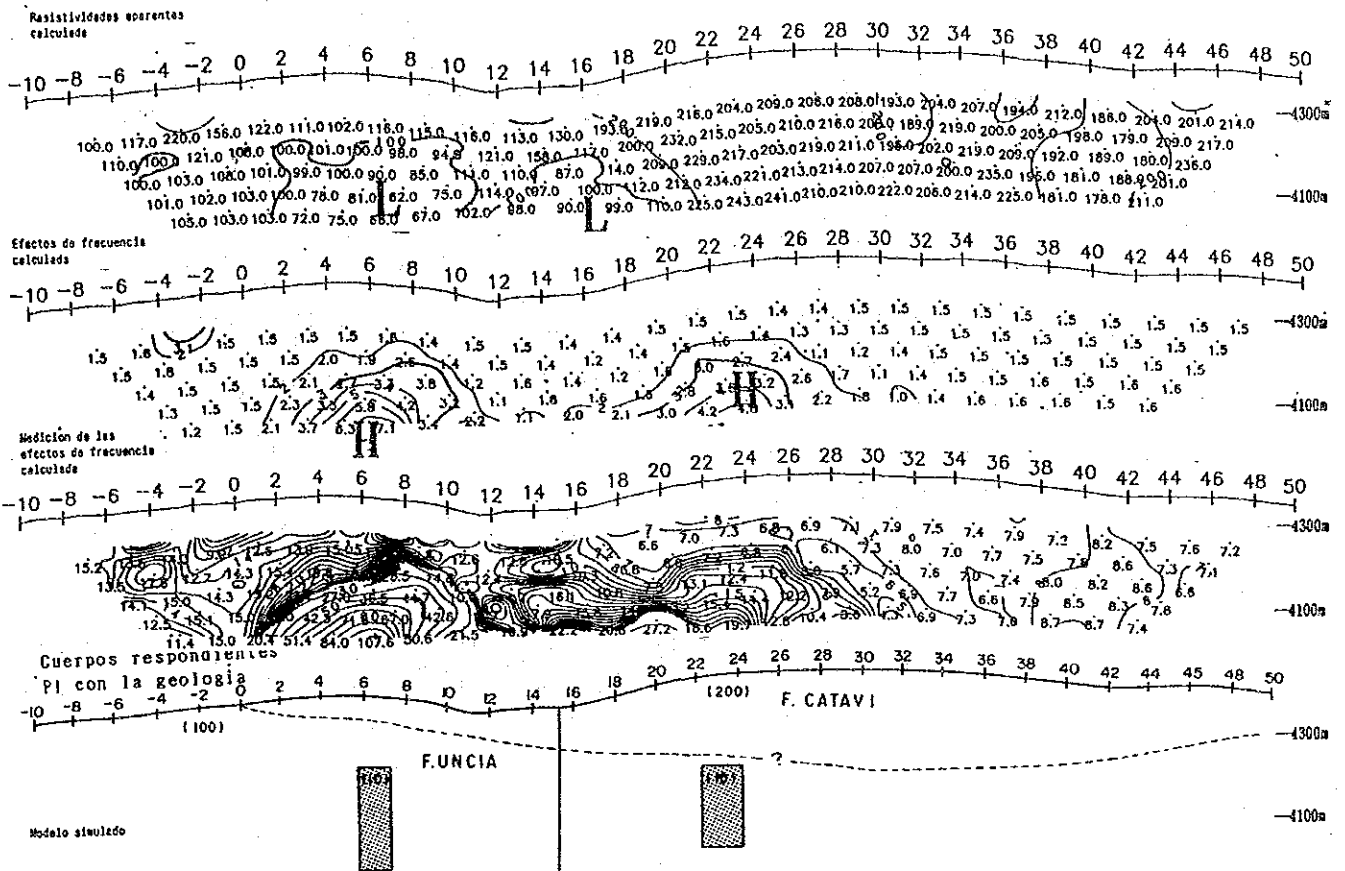


Fig. II -2-25 Perfiles de la simulación (línea B)

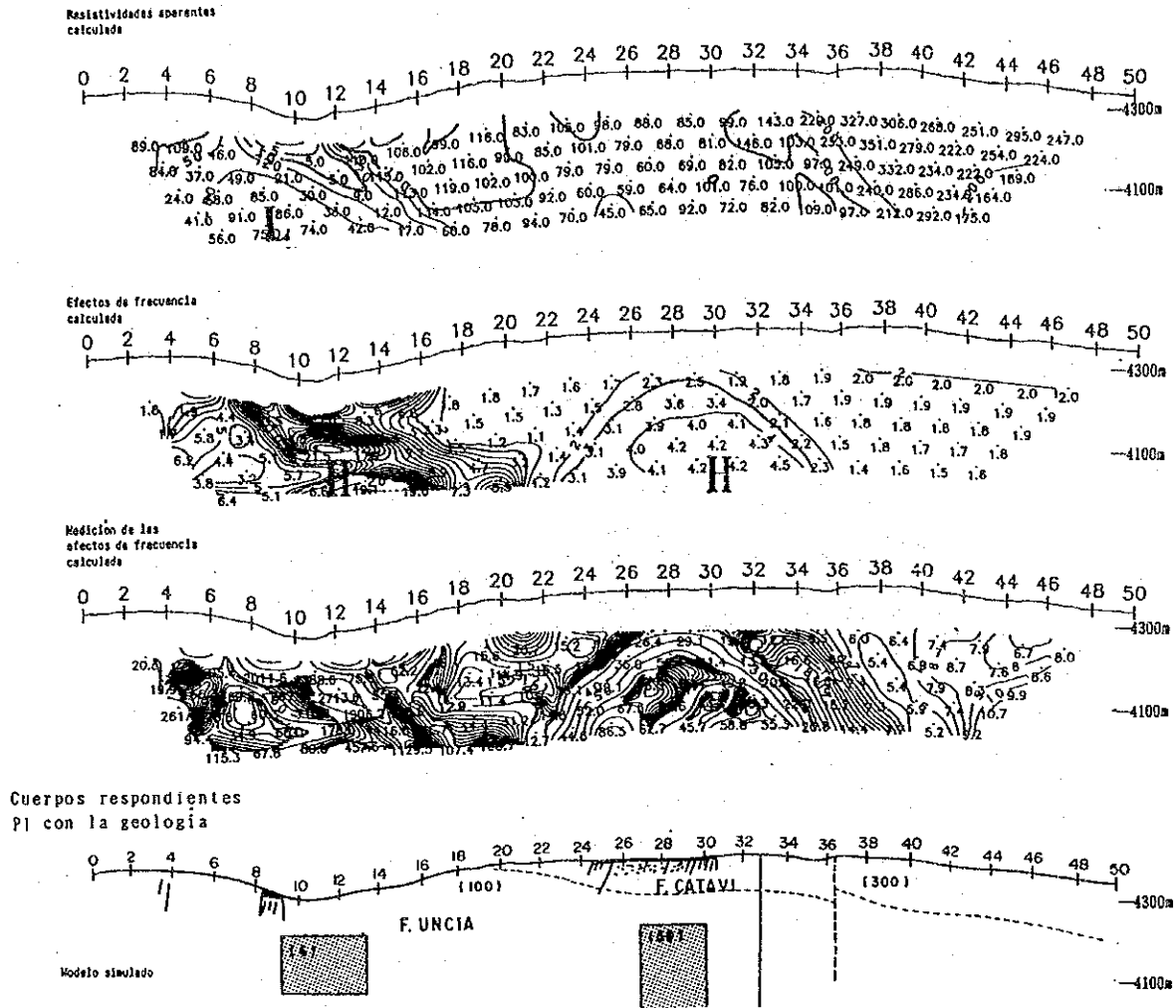
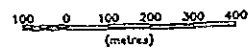


Fig. II -2-26 Perfiles de la simulación (línea D)





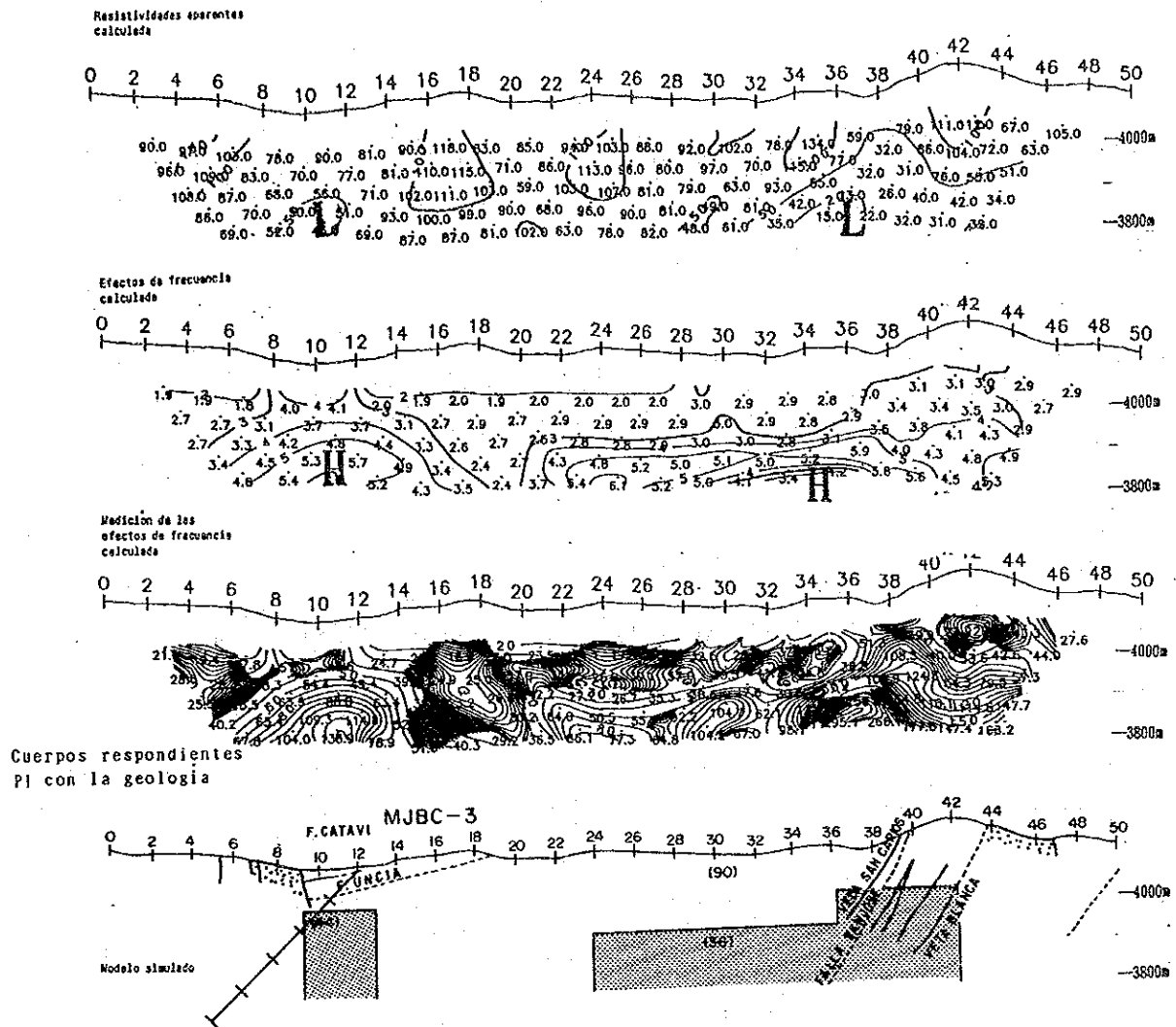


Fig. II -2-27 Perfiles de la simulación (línea H)

100 0 100 200 300 400  
(metros)

Relatividades aparentes  
calculada

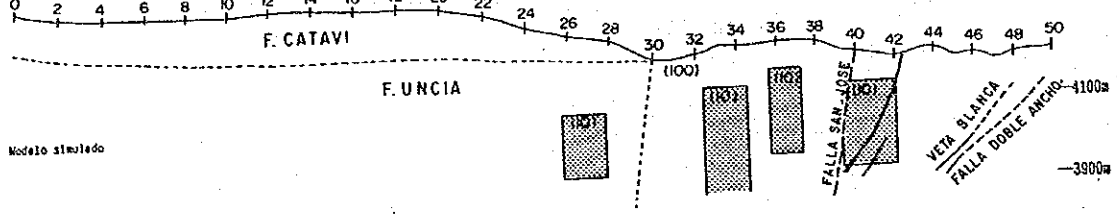
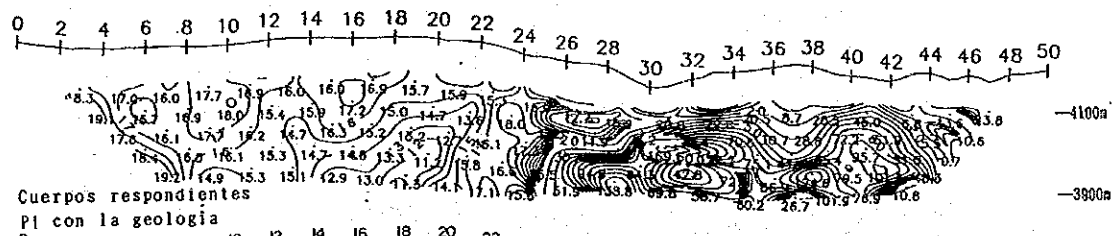
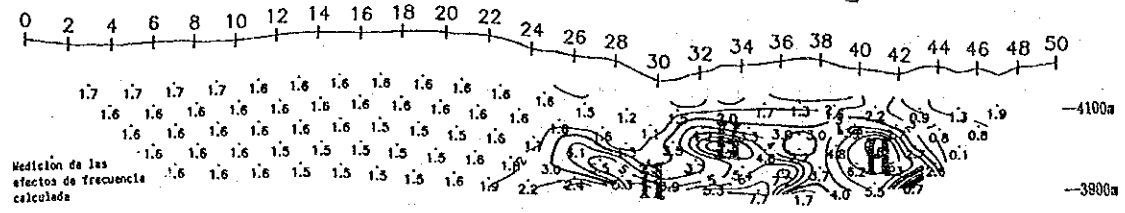
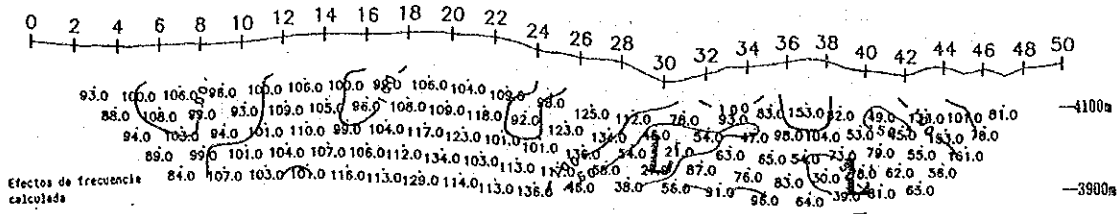
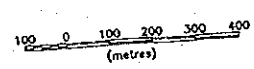
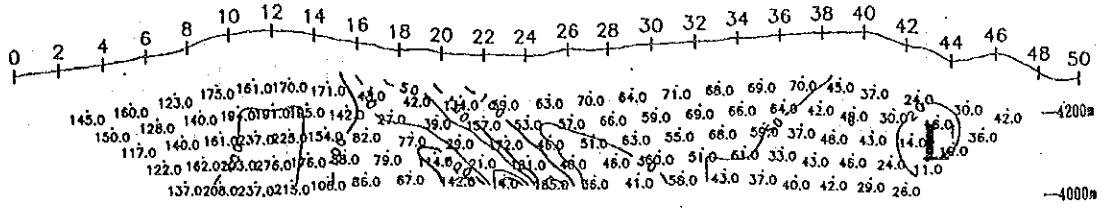


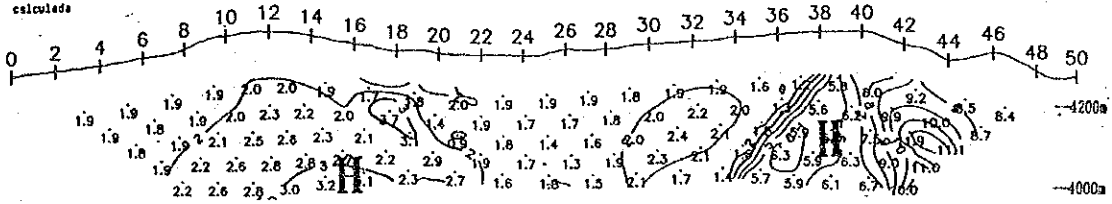
Fig. H -2-28 Perfiles de la simulación (línea J)



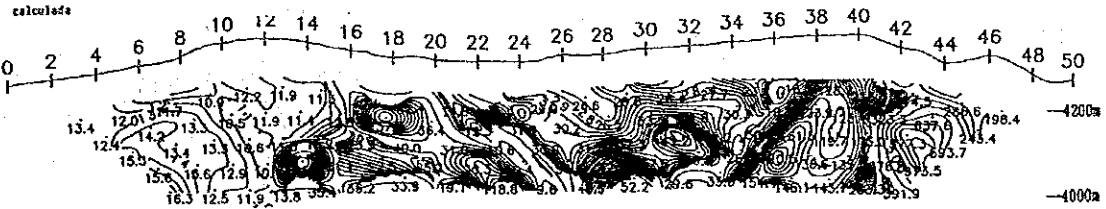
Rastividades aparentes  
calculada



Efectos de frecuencia  
calculada



Medición de los  
efectos de frecuencia  
calculada



Cuerpos respondientes  
PI con la geología

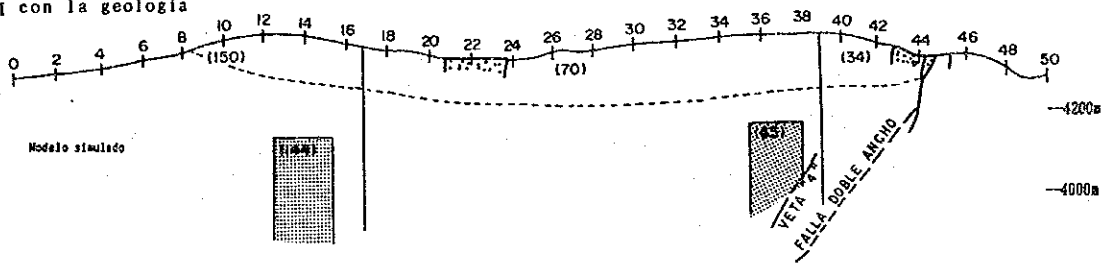


Fig. II -2-29 Perfiles de la simulación (línea 0)

100 0 100 200 300 400  
(metros)

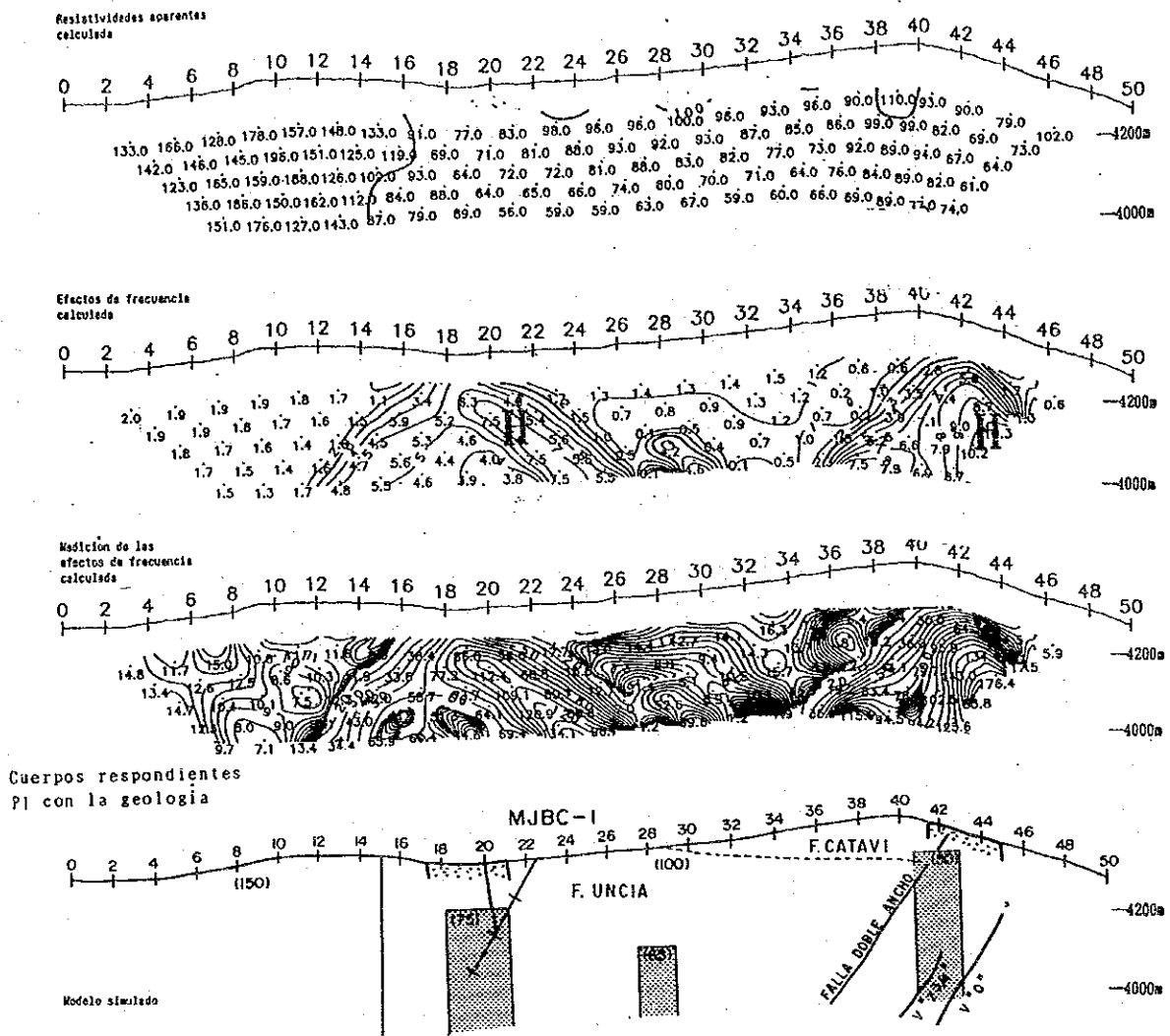
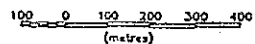


Fig. II -2-30 Perfiles de la simulación (línea P)



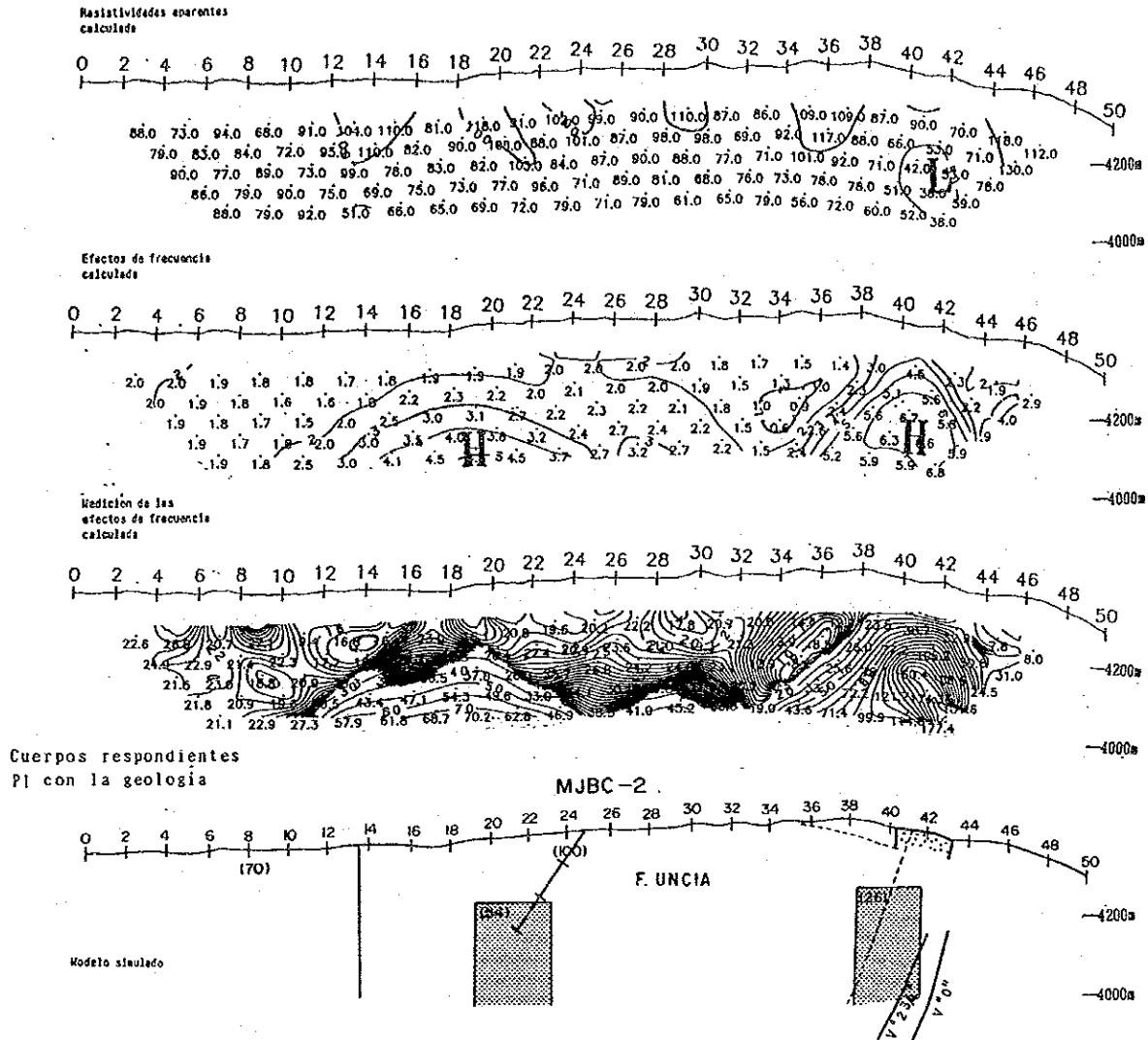


Fig. II -2-31 Perfiles de la simulación (línea Q)

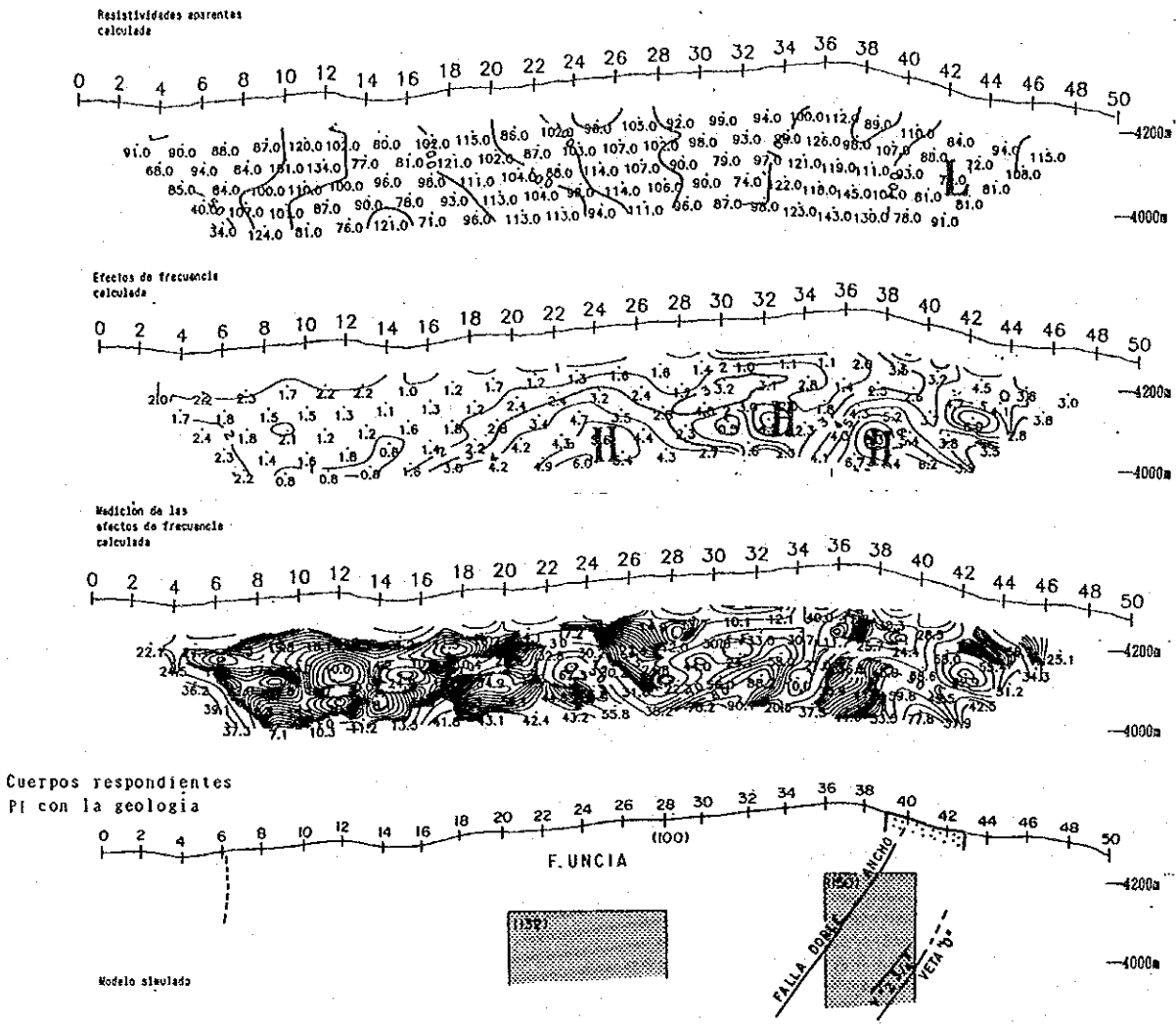
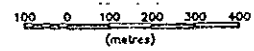


Fig. H -2-32 Perfiles de la simulación (línea R)



## 2-2. METODO CSAMT

### 2-2-1. ESTABLECIMIENTO DE LINEA Y MEDICION

El electrodo de corriente se ubicó en la parte más alta del río TAIZONA, aproximadamente 6km al sudoeste de la región del estudio. El espaciamiento del electrodo de potencial fue 100m, y su dirección correspondiente ha sido paralela al sistema del electrodo de corriente. Las posiciones del electrodo de potencial se ubicaron encima de la línea de medición del método por PI.

La tabla II-2-4 muestra los puntos esenciales del estudio en cada línea de medición.

Table II-2-4 Cortenido de la investigación Método

nombre	puntos. de estacion	puntos total	espaciamiento de cada punto
A. B.	42	84	100m
E. F.	49	98	
J.	35	35	
total		217	

En la figura II-2-33 se indican la posición del electrodo de corriente y la extensión de la medición.

En la figura II-2-34 se indica la posición de los puntos de la medición.

### 2-2-2. METODO DE MEDICION

El método CSAMT es un método que busca la distribución de la resistividad del subterráneo a través de las mediciones del campo eléctrico E que es paralelo al dipolo eléctrico y del campo magnético H perpendicular al campo eléctrico E, descargando a la tierra, a través del dipolo eléctrico de 1.5~2 de longitud, la corriente eléctrica en el dominio de una frecuencia audible.

En la figura II-2-35 se indica el resumen de la medición del método CSAMT. La distancia entre el lugar de transmisión y el de recepción debe ser más del triple (3: normalmente 4~8) de la profundidad de la superficie (8), donde se considera que se puede establecer aproximadamente la hipótesis de las ondas electromagnéticas planas en el lugar de recepción. Por esa razón, las zonas cerca del lugar de transmisión se llaman "near field", en las cuales no se puede establecer la hipótesis de las ondas electro-magnéticas planas, por lo que es difícil analizar de los datos. La profundidad de la superficie es la que reduce hasta 1/e (37%) las ondas electromagnéticas introducidas en la tierra homogénea (resistividad:  $\rho$ ) y esta profundidad se utiliza como la norma de la profundidad del estudio. El cálculo de la profundidad de la superficie se obtiene con la siguiente fórmula.

$$\delta = 503 \left| \frac{\rho}{f} \right|^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

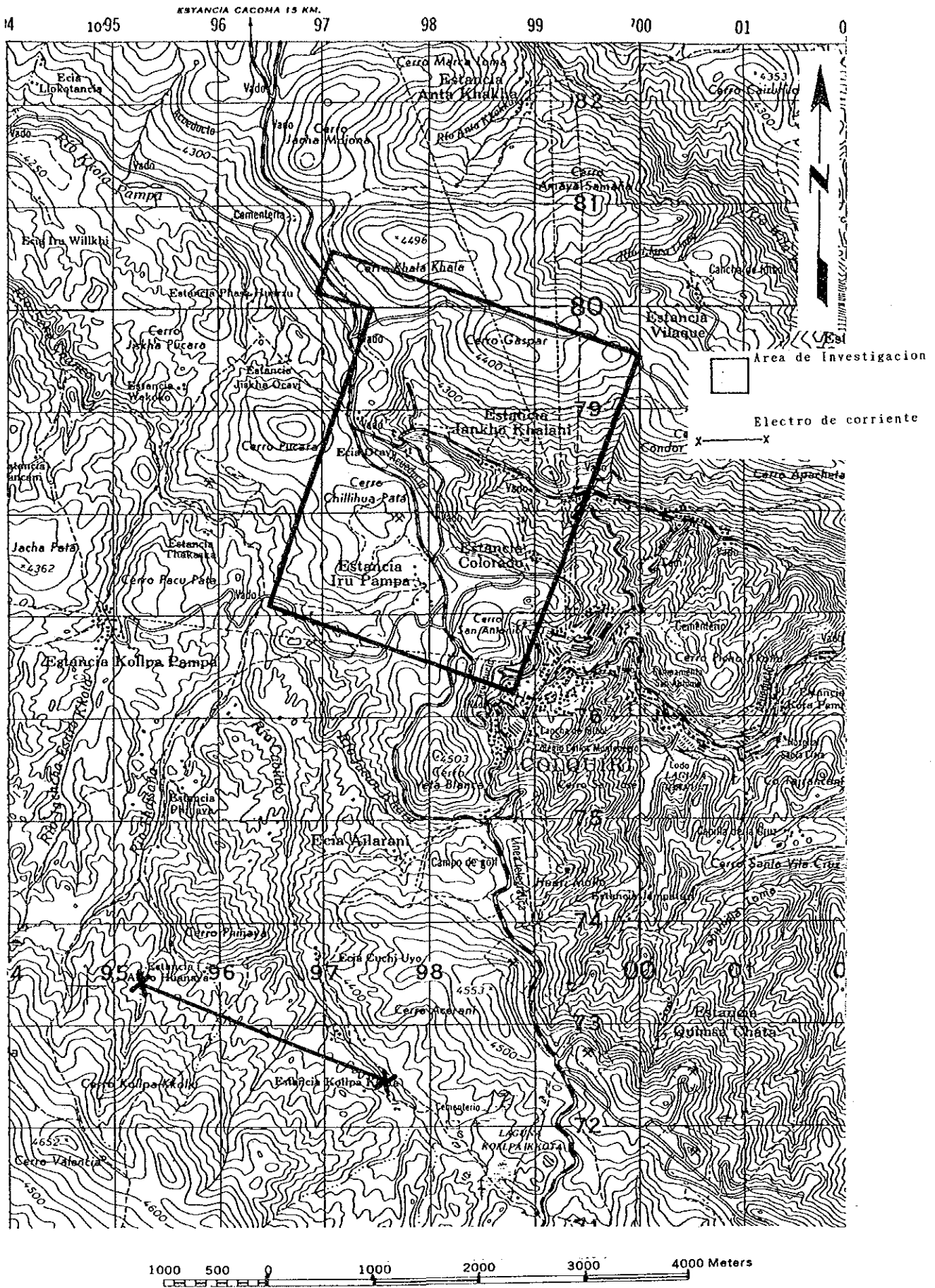


Fig. II -2-33 Mapa de localidades de método CSAMT, Area Colquiri



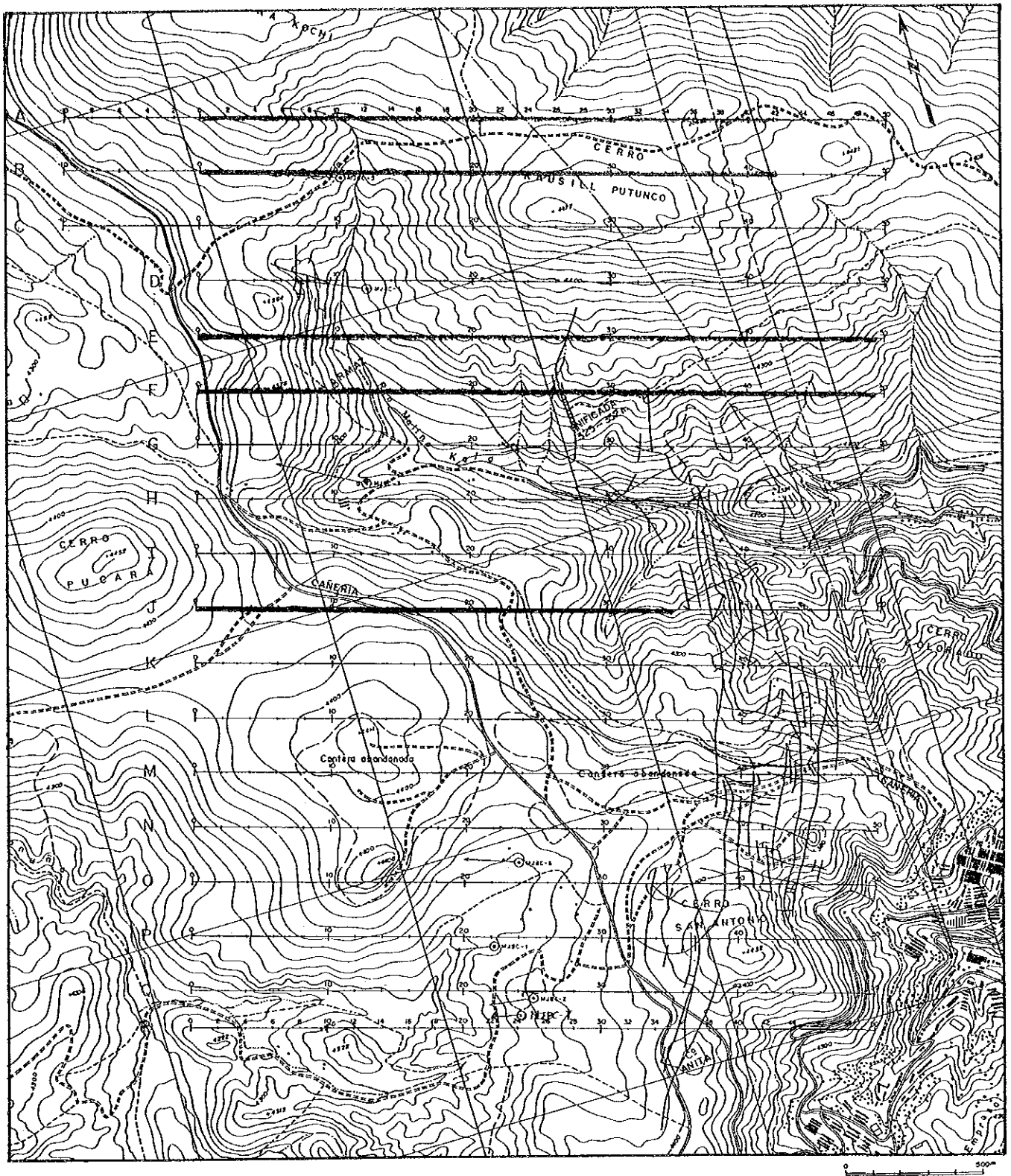


Fig. II -2-34 Mapa de la línea de medición y de la estación para el método CSAMT, Area Colquiri

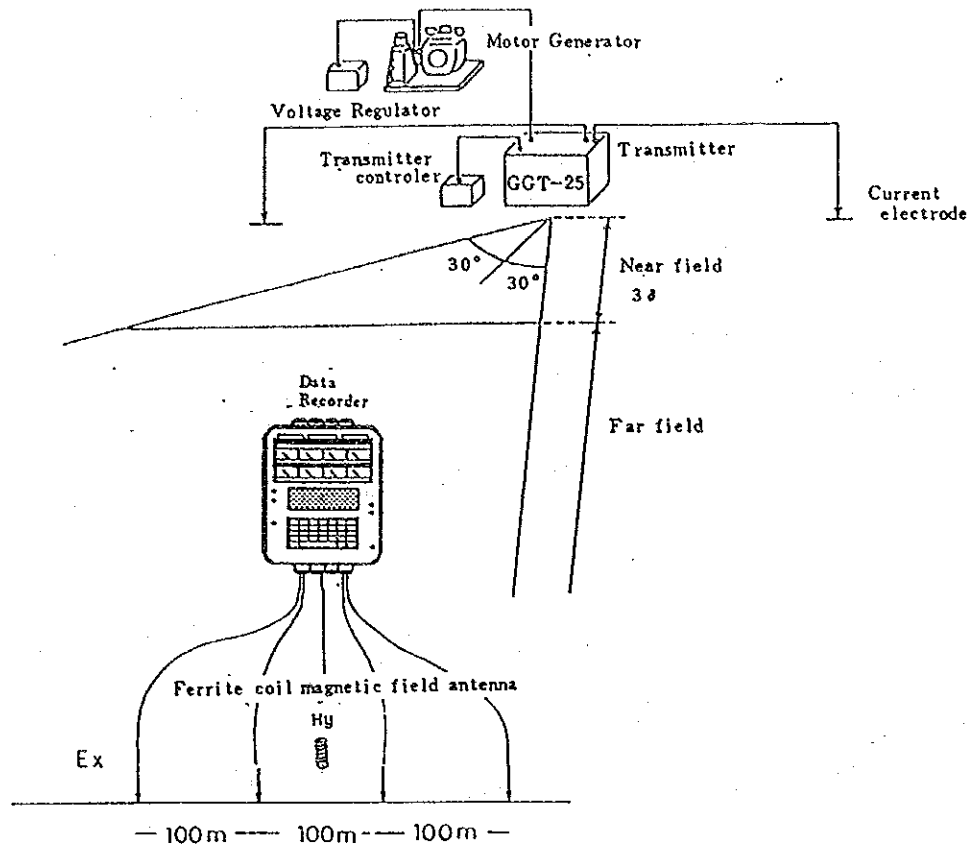


Fig. II -2-35 Mapa de explicación del método CSAMT

Tabla II -2- 5 Tabla de película profundidad

SKIN DEPTH (meters)

Note : Skin Depth (m) =  $503 \times \sqrt{\rho / f}$

RESISTIVITY IN OHM-METERS

	5	10	20	40	80	160	320	640	1,280	2,560	
FREQUENCY											f Hz
2,048	25	35	50	70	99	141	199	281	398	562	2,048
1,024	35	50	70	99	141	199	281	398	562	795	1,024
512	50	70	99	141	199	281	398	562	795	1,124	512
256	70	99	141	199	281	398	562	795	1,124	1,591	256
128	99	141	199	281	398	562	795	1,124	1,591	2,249	128
64	141	199	281	398	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	64
32	199	281	398	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	32
16	281	398	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	6,362	16
8	398	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	6,362	8,998	8
4	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	6,362	8,998	12,725	4
2	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	6,362	8,998	12,725	17,996	2

- $\delta$  : profundidad de superficie
- $\rho$  : resistividad de tierra homogénea ( $\Omega \cdot m$ )
- $f$  : frecuencia (Hz)

Como se ve claramente en la formula (1), la profundidad de superficie es la función entre el valor de la resistividad y el de la frecuencia. En la tabla II-2-5 se indica la variación de la profundidad de superficie relacionada con el cambio de la resistividad y de la frecuencia, utilizando la formula (1). En la zona de resistividad se nota la necesidad de tomar la distancia suficiente entre el lugar de transmisión y el de recepción para reducir la influencia de "near field".

Como en el electrodo de corriente se utilizaron 100 electrodos de acero a cada lado para reducir la resistencia de conexión a la tierra. Y para elevar la proporción S/N se establecio y transmitio en cada frecuencia el valor maximo de la corriente de transmision, el cual no sobrepasa la potencia maxima del transmisor. Las frecuencias del transmisor son 11 frecuencias : 2, 048, 1, 024, 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4 y 2Hz.

Para la medición del campo eléctrico se utilizó, como el electrodo de potencial, un electrodo de sulfato de cobre metido en una jarra no viduriado. Y para la medición del campo magnético se utilizó una antena magnética de carrete de inducción, la cual se colocó, separandola 10m del dipolo del campo eléctrico, en dirección perpendicular al dipolo de recepción.

Las señales del campo eléctrico y del magnético se procesan en el receptor V-5 y se calculan la intensidad y la fase del campo eléctrico, la intensidad y la fase del campo magnético, la resistividad aparente y la difrencia de fase. Estos datos se indican en el indicador visual de V-5 y se registran en la memoria junto con los terminos de medición como el número de veces de AMP GAIN y STACKING, etc.

En este estudio se procuró obtener los datos reproducibles, ejectuando las mediciones más de 3 veces en cada frecuencia.

### 2-2-3. EQUIPO Y MAQUINARIA DE MEDICION

En la tabla II-2-6 se indican equipos y maquinarias usadas en la medicion.

Tabla II -2- 6 Lista de los equipos de medición del Método CSAMT

Clase	Nombre	Especificación	Cantidad
Sistema de Transmisor	Marca ZONG GGT-Tipo 20 Transmisor	Voltaje potencial : 400-800V Corriente potencial: 0.2-25A Forma de onda potencial: forma corta de onda Frecuencia potencial : 1/1.024-2.048Hz Peso : 113Kg	1
	Marca ZONG XMT-Tipo 12 Controlador de Transmision	Frecuencia controlada : 1/1.024-2.048Hz Peso : 5.8Kg Fuente de alimentacion : 12 V bater a	1
Dinamo con Motor	Marca ZONG ZMG-Tipo 12 Dinamo	Potencia máxima : 30KW Frecuencia : 400Hz Voltaje estandar: 120/208V Motor:4 cilindros enfriado por aire	1
Sistema de Receptor	Mar. Phoenix Tipo V 5 Receptor	Entrada de se al: 8 canales Dominio de frecuencia recepti- va : DC-10KHz Receptividad de voltaje recep- tivo : 10 $\mu$ V CPU : CMOS NS32C0016 Memoria : 512K I/O : RS232-C A/D : 16 bit/125KHz Peso : 14Kg Fuente de alimentación : 12V bater a exterior	1
	Ma. TECTRINIX Tipo 212 Osciloscopio	Receptividad:1mV/div - 50V/div Fuente de alimentacion : 12V bateria Peso : 1.6	2
	Mar. Phoenix Carrete AMT	Caracteristica de frecuencia : FC=1.1Hz Longitud total : 89 Diámetro : 90 Peso : 6.5Kg	2
Electrodo	Electrodo de corriente	Barra de hierro:diámetro 16 y longitud 80	200
	Electrodo de potencial	Electrodo no polarizado en solución saturada de sulfato cúprico	10
Cable eléctrico	FUJIKURA DEN SEN, CO. LTD (receptor)	Cable vinilo VSF 1.25	1000m
	KYOZAN DENSE N, CO. LTD. (transmisor)	Cable vinilo CVVI $\times$ 3.5	6000m
Equipo d medición	Comp s por- tatil de Mar. USHIKATA 100m Cuerda Esron		2
Receptor- Emisor portatil	SONY, CO. LTD.	Potencia : 500mW	6

#### 2-2-4. METODO DE ANALISIS

En la figura II-2-36 se indica la secuencia de análisis por el metodo CSAMT realizado en este estudio.

En el estudio por el método CSAMT, la distancia entre el lugar transmisor y el receptor debe ser más del triple de la profundidad de la superficie para evitar

la influencia de "near field". Sin embargo, en realidad no se pudo obtener fácilmente con antelación el promedio de la resistividad de la región del estudio y por la limitación de la proporción S/N, no se puede ubicar muy lejos el electrodo de corriente.

En este estudio se ubicó el electrodo de corriente a 8.5 del centro de la región del estudio, para reducir la influencia de "near field" lo mas posible.

En casi todos los puntos de medición la existencia de "nearfield" es poca, y no constituye gran problema, además se realizo la auto-corrección de "near field" en el receptor V-5.

A través de los datos registrados en V-5 se calcularon el valor promedio respectivo del campo eléctrico, el campo magnético y la diferencia de fase y el valor de la resistividad aparente. Y se obtuvo la tabla del valor medido. Para la formula del valor de la resistividad aparente se aplicó la siguiente fórmula que se utiliza normalmente en el método MT.

$$\rho_a = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \dots\dots\dots (2)$$

$\rho_a$  = resistividad aparente de la tierra ( $\Omega \cdot m$ )

f = frecuencia del electrodo de corriente (Hz)

$E_x$  = campo eléctrico ( $\mu V/m$ )

$H_y$  = campo magnético ( $\gamma$ )

Utilizando este valor de resistividad aparente, se trazaron los planos de la resistividad aparente de cada frecuencia.

El plano de sección de la resistividad aparente es el plano en que aparecen las líneas isoresistivas aparentes a una determinada distancia, escribiendose los valores de la resistividad en las líneas de medición que siguen la línea sobre el sección de arriba a bajo por orden de la alta frecuencia, el eje vertical y la profundidad no corresponden mutuamente, resultando en un plano semejante al verdadero.

Se considera que el valor de la resistividad aparente que se ha observado incluye las informaciones de la resistividad que existen hasta la profundidad de superficie. Para obtener un modelo adecuado de la resistividad se realizó el análisis en una dimensión, tomándose la estructura subterránea como la estructura multicapa horizontal.

(EL ANALISIS DE LA ESTRUCTURA DE MULTICAPA EN UNA DIMENSION )

Los valores de la resistividad aparente que corrigieron "nearfield" se aplicaron al análisis, excepto los que se consideraron que fueron evidentemente

afectados por los ruidos. El análisis fue realizado con el método SIMULACION TIPO DIALOGO, el cual es como sigue: se supone que el número y el espesor de la capa de la estructura multicapa horizontal y el valor de la resistividad son el parámetro, y se calcula la curva  $\rho_a$ -f conforme a las formulas (3) ~ (8) relacionadas con el primer modelo que posteriormente se describe. Se corrige el parámetro para que se acerque a la curva  $\rho_a$ -f obtenida por los valores observados.

A continuación se describe a manera del cálculo de la curva  $\rho_a$ -f en el caso del modelo de la estructura multicapa horizontal en el método CSAMT.

En la siguiente fórmula se indica la impedancia superficial ( $Z_j, Q_j$ ) contra la capa (n+1) de la estructura multicapa horizontal (los valores de la resistividad de cada capa =  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n, \rho_{n+1}$ , y la profundidad de la base inferior de cada capa =  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ )

$$Z_{(0)} = \frac{E_x}{H_y} \Big|_{z=0} = \frac{i \omega (A_0 + B_0)}{\theta_0 (A_0 + B_0)} \quad \text{----- (3)}$$

$$A_0 + B_0 = A_1 + B_1 \quad \text{----- (4)}$$

$$\theta_0 (A_0 - B_0) = \theta_1 (A_1 + B_1)$$

$$A_j \exp(-\theta_j z_j) + B_j \exp(\theta_j z_j)$$

$$= A_{j+1} \exp(-\theta_{j+1} z_j) + B_{j+1} \exp(\theta_{j+1} z_j)$$

$$\theta_j (A_j \exp(-\theta_j z_j) - B_j \exp(\theta_j z_j))$$

$$= \theta_{j+1} (A_{j+1} \exp(-\theta_{j+1} z_j) + B_{j+1} \exp(\theta_{j+1} z_j))$$

$$(j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\text{----- (5)}$$

$$A_n = \frac{\theta_{n+1} + \theta_n}{2\theta_n} \exp[-(\theta_{n+1} - \theta_n)z_n]$$

$$B_n = \frac{\theta_{n+1} - \theta_n}{2\theta_n} \exp[-(\theta_{n+1} + \theta_n)z_n]$$

$$\text{----- (6)}$$

Aquí se utilizó el sistema de la unidad CGSEMU y  $\theta$  es la frecuencia.

$$\theta_j = \frac{\pi 4 i \omega}{\rho_j} \quad 1/2 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\omega = 2\pi f$$

Por otro, como se hace  $1\text{mV/km} = 1\text{emu}$ ,  $1 \Omega\text{m} = 1011\text{emu}$  y  $1r = 10^{-5}$ , si es expresado por el sistema de la unidad CGSEMU el cálculo de la resistividad aparente indicada en la fórmula (2), ser como losiguiente:

$$\rho_a = \frac{2}{f} |z(\theta)|^2 [e, m, u] \dots\dots\dots (7)$$

Por lo tanto, a través de las fórmulas (3) ~ (6) y de la (7) se puede obtener la resistividad aparente  $\rho_a$ ". En el caso de utilizar  $\Omega \cdot m$  como la unidad de  $\rho_a$ ", la fórmula expresada será como lo siguiente:

$$\rho_a = \frac{2}{f} |z(\theta)|^2 / 10^{11} [\Omega \cdot m] \dots\dots\dots (8)$$

(EL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA EN DOS DIMENSIONES )

Con los resultados del análisis en una dimensión, se elaboró el plano sección de la resistividad aparente analizada, tomando este plano como el primer valor, se realizó el análisis en dos dimensiones. Se describe el resumen del método del análisis a continuación;

En el caso del fuente de ondas planas como el método MT (magneto telluric method), si se supone la estructura en dos dimensiones que no altera el campo en dirección de avance, la ecuación de Maxwell se divide en dos modos : el modo TM y el TE. En el cálculo del modelo en dos dimensiones con el método CSAMT usado esta vez, lo fundamental fue resolver la ecuación aproximada, separando la parte que corresponde al modo TM conforme a JUPP & Vozoff(1977) y utilizando el método de división por la diferencia limitada.

En la fig. II-2-37 se indica el proceso del análisis de la estructura en dos dimensiones. El cálculo de FORWARD busca la respuesta entre la diferencia de fase y la resistividad aparente por cada frecuencia en cada punto de medición en cuanto al modelo dado de resistividad de la tierra (la estructura y su distribución de resistividad). En el cálculo del análisis usado esta vez, el cálculo de FORWARD se utilizó para el examen y la selección del primer modelo y la corrección de los resultados del cálculo de INVERSION. El cálculo de INVERSION es uno de los métodos de solución del problema del valor del límite opuesto y es lo que busca la distribución de la resistividad subterránea y que con lo cual se puede explicar muy bien los datos medidos. En ese caso, comparando la curva  $\rho_a$ -f del valor medido con la del valor calculado se corrige y se cambia la distribución de resistividad a manera de que aquella se acerque a esta. La manera escogida para ello, fue la de aplicar repetidamente la multiplicación mínima en segunda potencia a través de la fórmula de recurrencia tipo lineal.

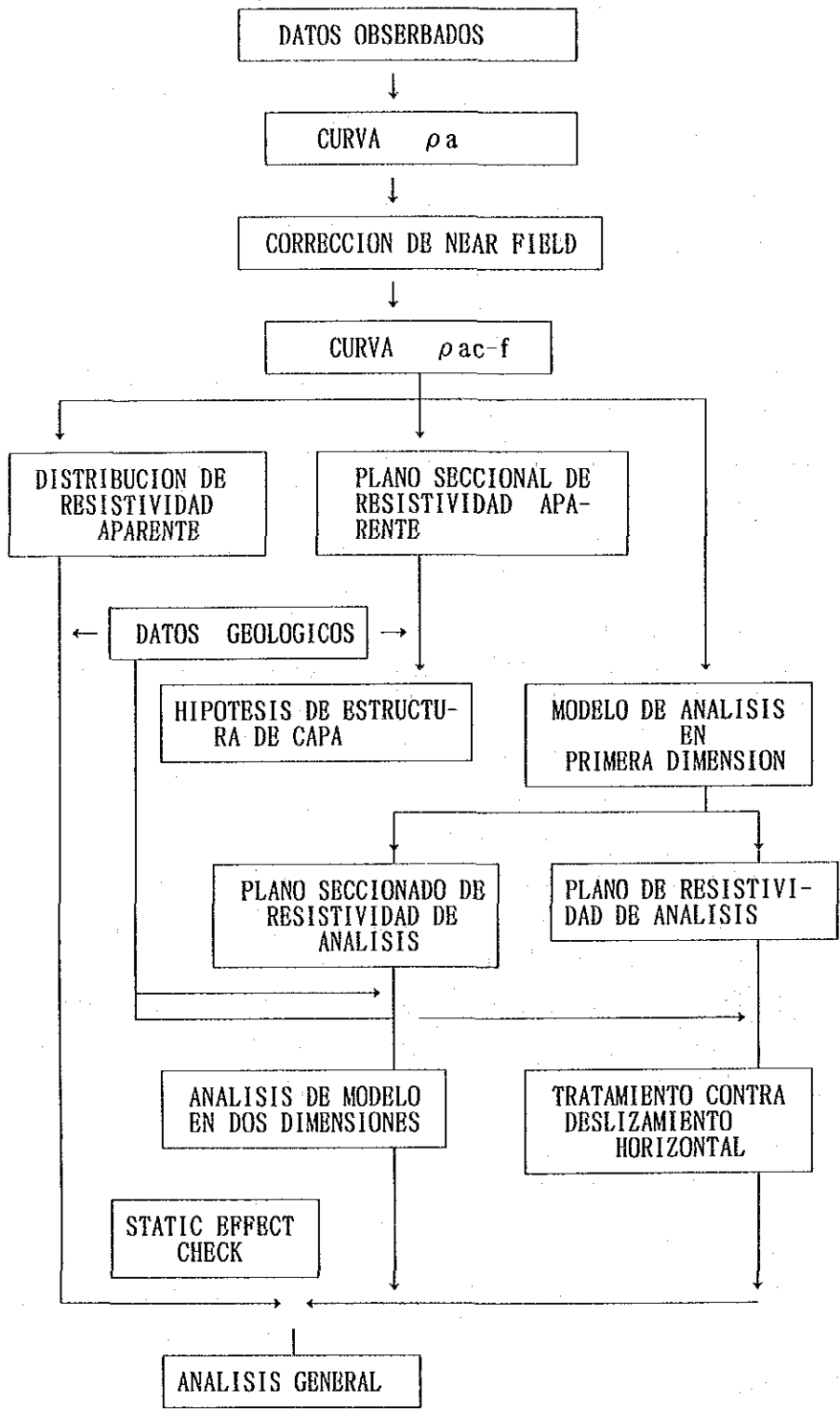


Fig. II -2-36 Diagrama de análisis del método CSAMT



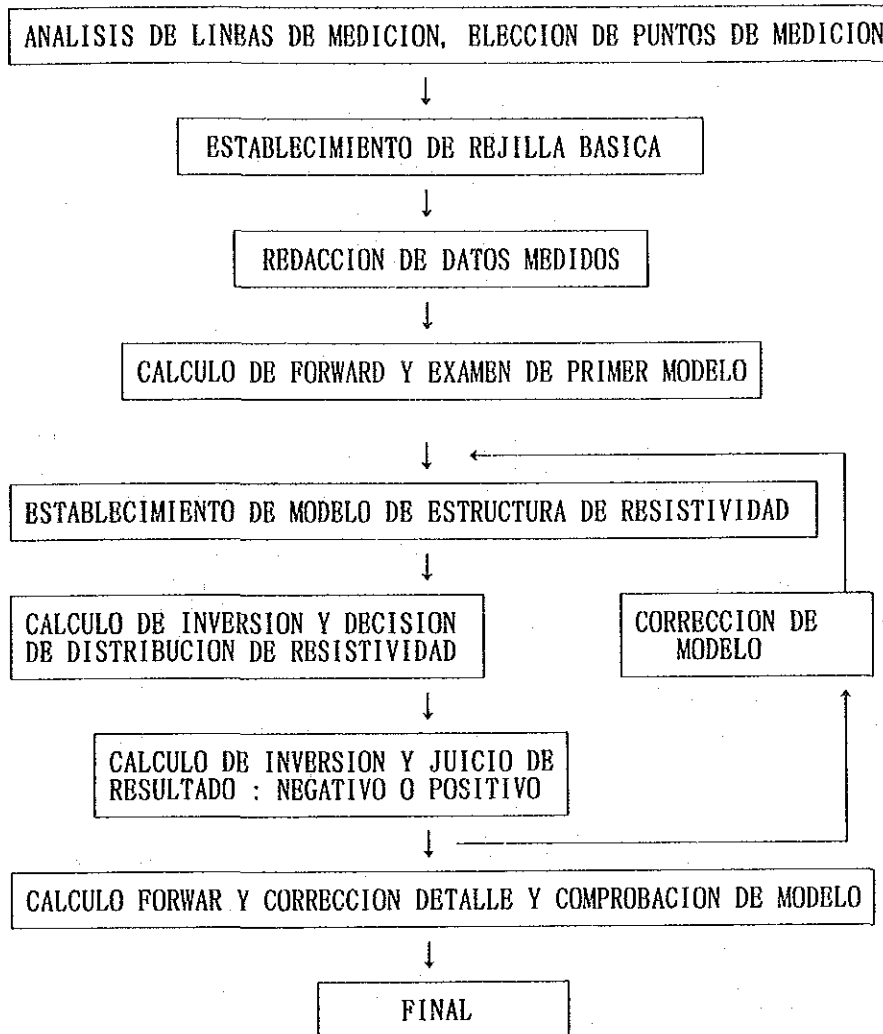


Fig. II -2-37 Diagrama de la análisis de la estructura dos dimensiones del método CSAMT

## 2-2-5 RESULTADOS DEL ANALISIS

Se midieron totalmente 217 estaciones con el método CSAMT para la zona anómala lograda por PI con el objeto de aclarar más las partes profundas: en las líneas de medición A y B, 42 de cada línea y total 84 estaciones, en las líneas E y F, 49 de cada una, total 98 estaciones, y en la línea J, 35 estaciones.

Se prepararon las figuras de varias especies para análisis como mencionado en 2-2-4.

La figura plana de la resistividad aparente indica 2.048Hz, 512 Hz, 8 Hz como ejemplos representativos en la figura II-2-38~II-2-40 y la figura estructural de la resistividad indica 4.300m, 4.100m, y 3.900m de altitud en la figura II-2-41~Fig. II-2-43

Además se preparan 5 secciones de las líneas de medición A~ J, y se las indican en la figura II-2-44~Fig. II-2-48

Se explica la figura de la resistividad aparente.

(2.048 Hz)

Se utiliza a veces para la comparación con la geología de la superficie terrestre, considerando que es adecuado para lograr informaciones de la parte superficial y la profunda.

Se caracteriza la situación de la distribución de la resistividad aparente como siguientes.

En las líneas A y B, se indica 100~500  $\Omega \cdot m$  en Cerro Kausill Putunco de la parte sureste y es un poco resistividad alta. Se compara con la formación Catavi especialmente con la de areniscas. En las líneas E y F se extiende la zona de baja resistividad de 50  $\Omega \cdot m$ , cuyo centro está en las estaciones 15~16. La mayor parte de la línea de medición J indica 30~100  $\Omega \cdot m$  de la resistividad baja. Se considera que en estas zonas de baja resistividad está recibida la superficie una anomalía de la calidad.

(512 Hz)

Las líneas de medición A y B indican generalmente la resistividad alta excepto las estaciones 0~10 de la parte oeste.

Las líneas de medición E y F indican la resistividad baja de menos de 50  $\Omega \cdot m$  en las estaciones de medición 10~16. La línea de medición J indica la resistividad baja de menos de 50  $\Omega \cdot m$  alrededor de las estaciones de medición 23, 27 y 32.



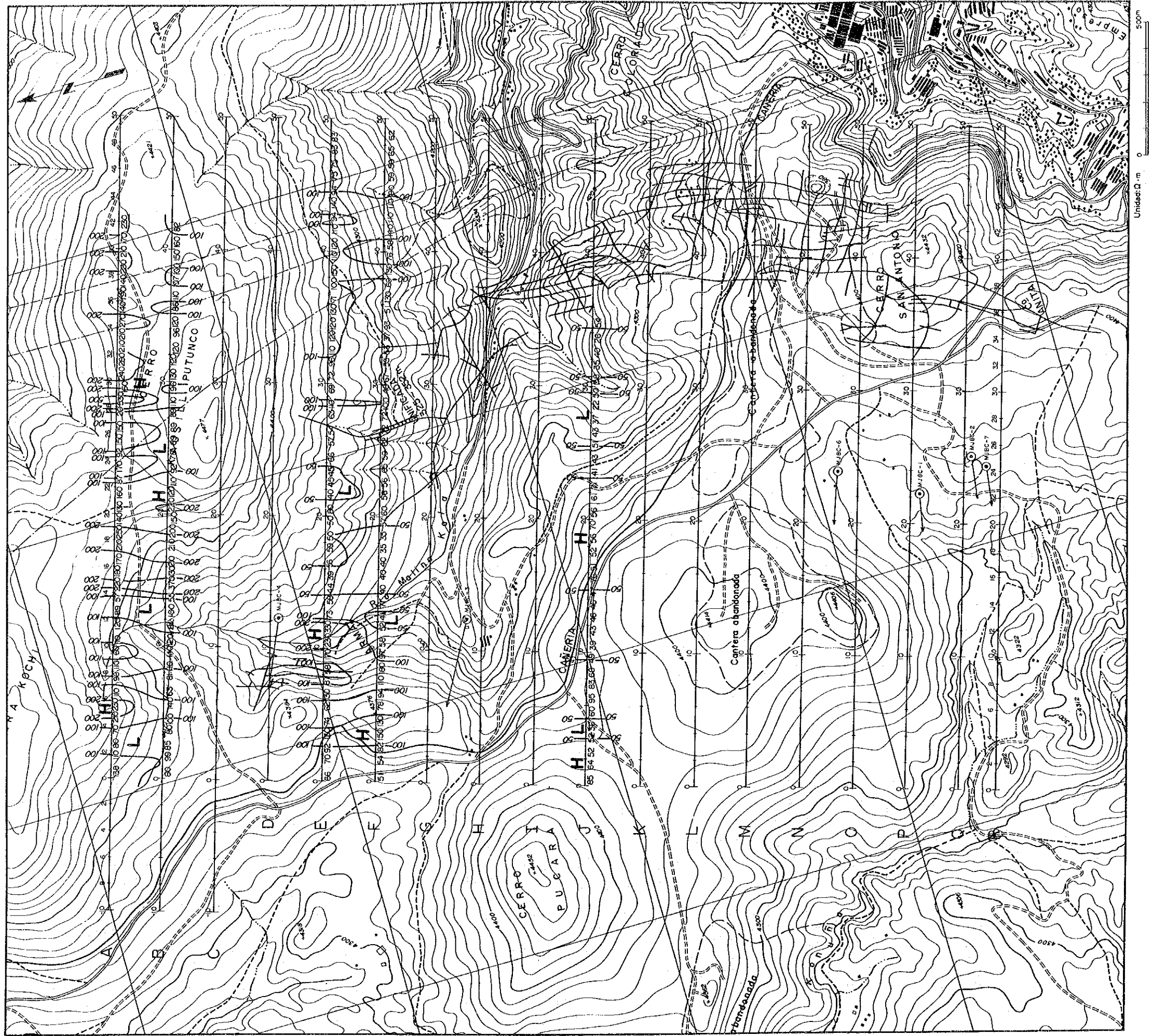


Fig. II -2-38 Plano de la Resistividad Aparente (2048 Hz)

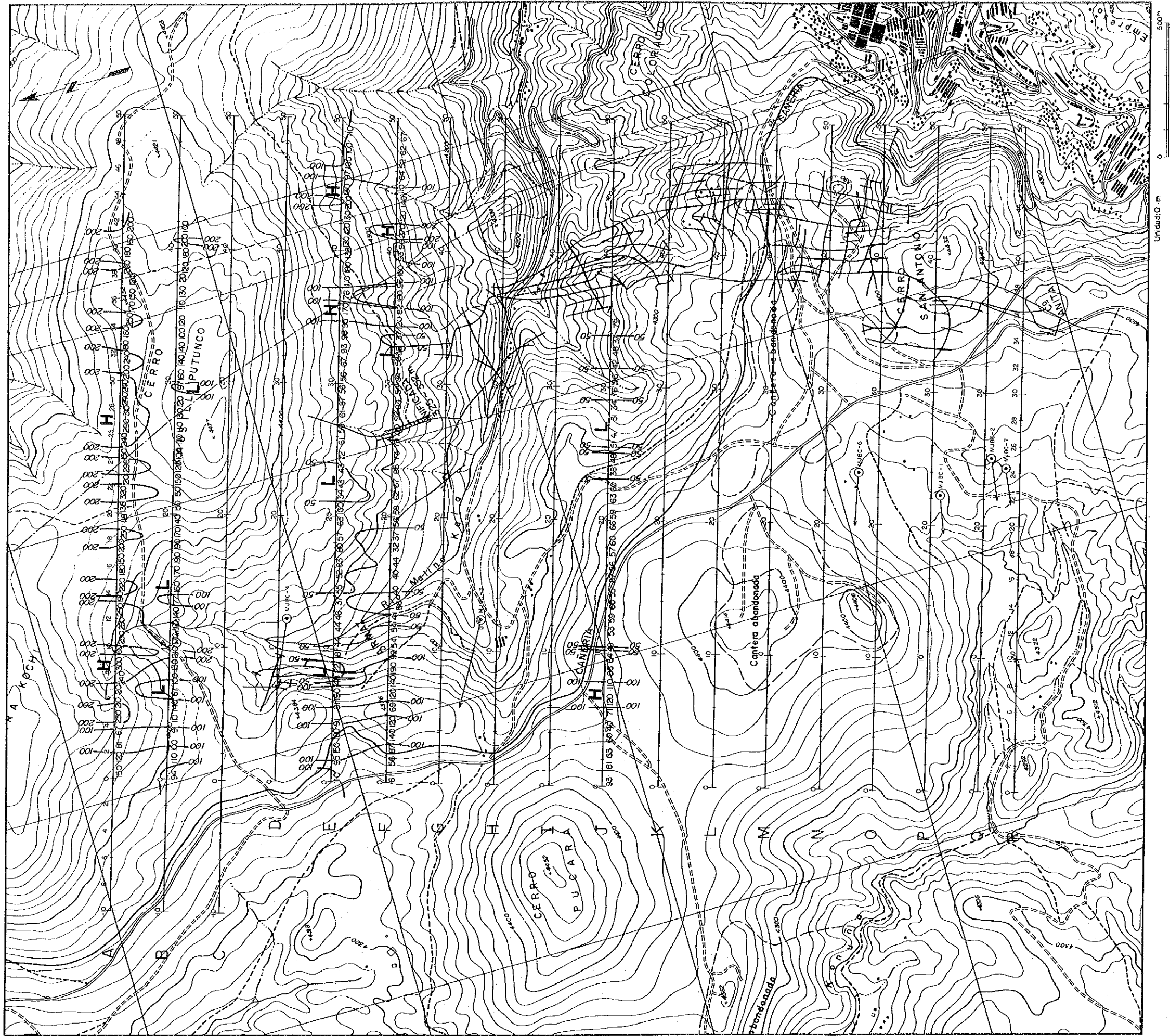


Fig. II - 2-39 Plano de la Resistividad Apparente ( 512 Hz)

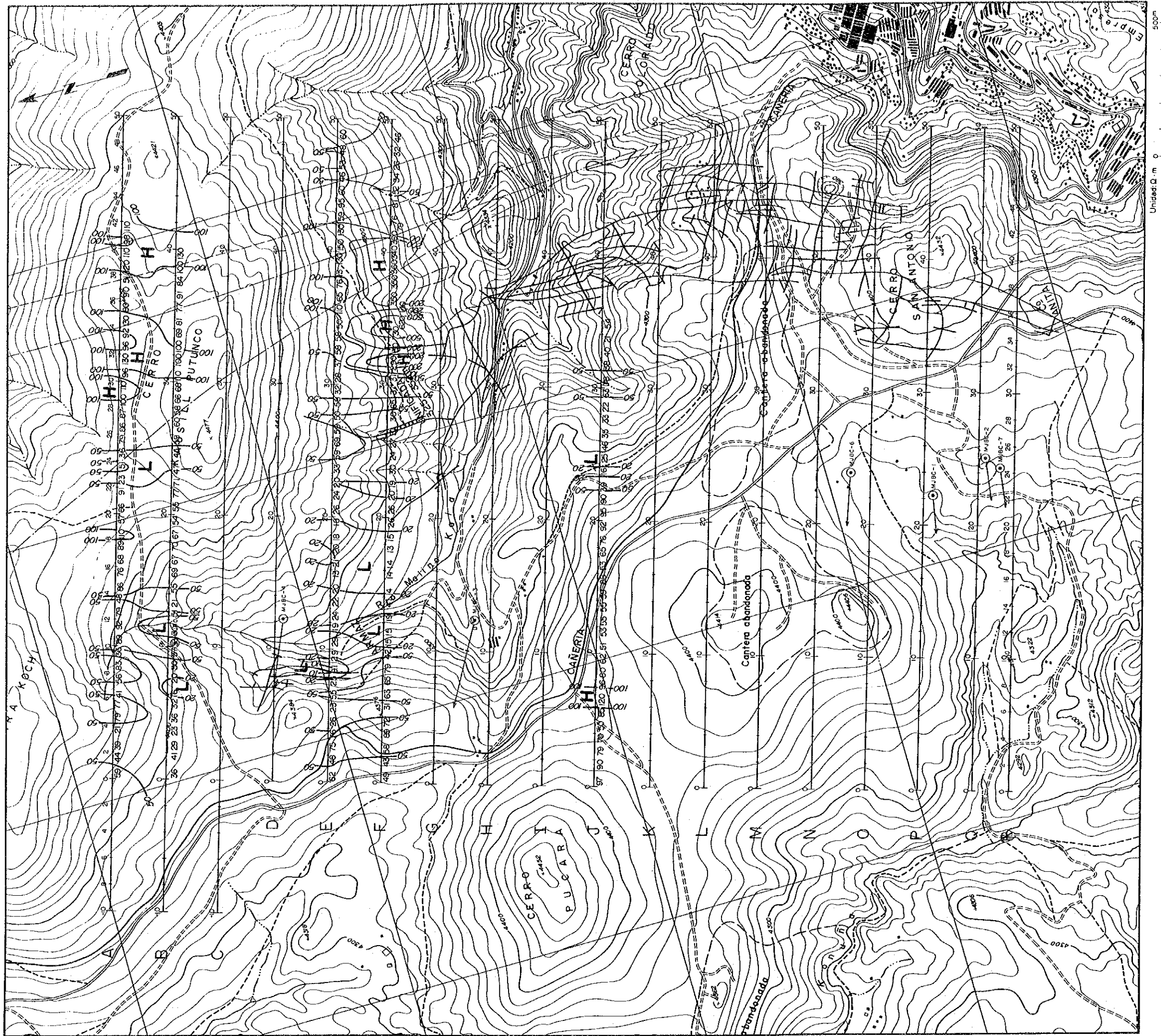


Fig. II -2-40 Plano de la Resistividad Aparente ( 8 Hz)



(8 Hz)

Se indica la resistividad baja de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en las estaciones de medición 2~10 de la parte oeste, la estación de medición 14 y 24, de las líneas de medición A y B.

Las líneas de medición E y F indican la resistividad baja de menos de  $20 \Omega \cdot m$  en las estaciones de medición 10 y 14~20. La línea de medición E indica la resistividad baja de menos de  $20 \Omega \cdot m$  en la estación de medición 23.

Se explica la figura estructural de la resistividad.

(Altitud 4.300m)

Las líneas de medición A y B indican totalmente la resistividad baja, y comparan con la distribución principalmente de la formación de areniscas de Catavi.

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en la estación de la medición de la línea B, las estaciones de 8~16 y 22 de la línea E, y las estaciones 10~18. Se considera que la zona de baja resistividad de las líneas E y F refleja el yacimiento de Armas y la zona mineralizada.

(altitudud 4.100m)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en las estaciones 6~8, 13, y 22~25 de las líneas de A y B. Además se indica la resistividad baja de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en las estaciones 24, 26, 36 de la línea F.

Se indica la resistividad baja de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en las estaciones 26~30 de la línea J.

(Altitud 3.900m)

Se extiende la zona de baja resistividad notable de menos de  $20 \Omega \cdot m$  en las estaciones 0~14 y 22~24 de las líneas de A y B. Se extiende la zona de baja resistividad notable de menos de  $20 \Omega \cdot m$  en las estaciones 4~24, 30 y 36 de las líneas de E y F.

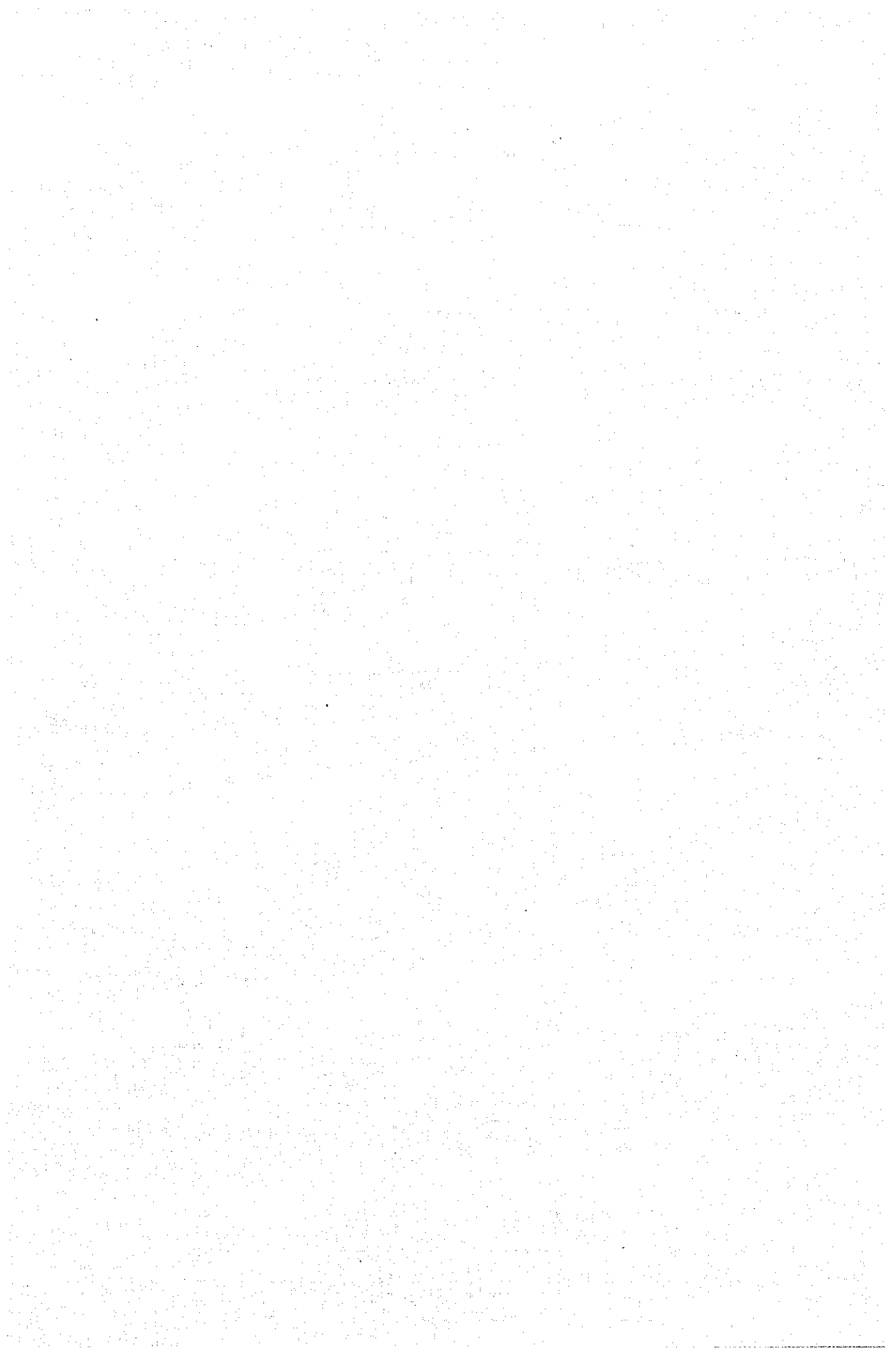
Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $20 \Omega \cdot m$  en las estaciones 22~24 de la línea J.

Se calcula que en la zona de las líneas de A y B se extiende la falla y la zona anómala que acompaña a ése, pero se espera un yacimiento y zona mineralizada.

Se explica la sección de las líneas de A y J.







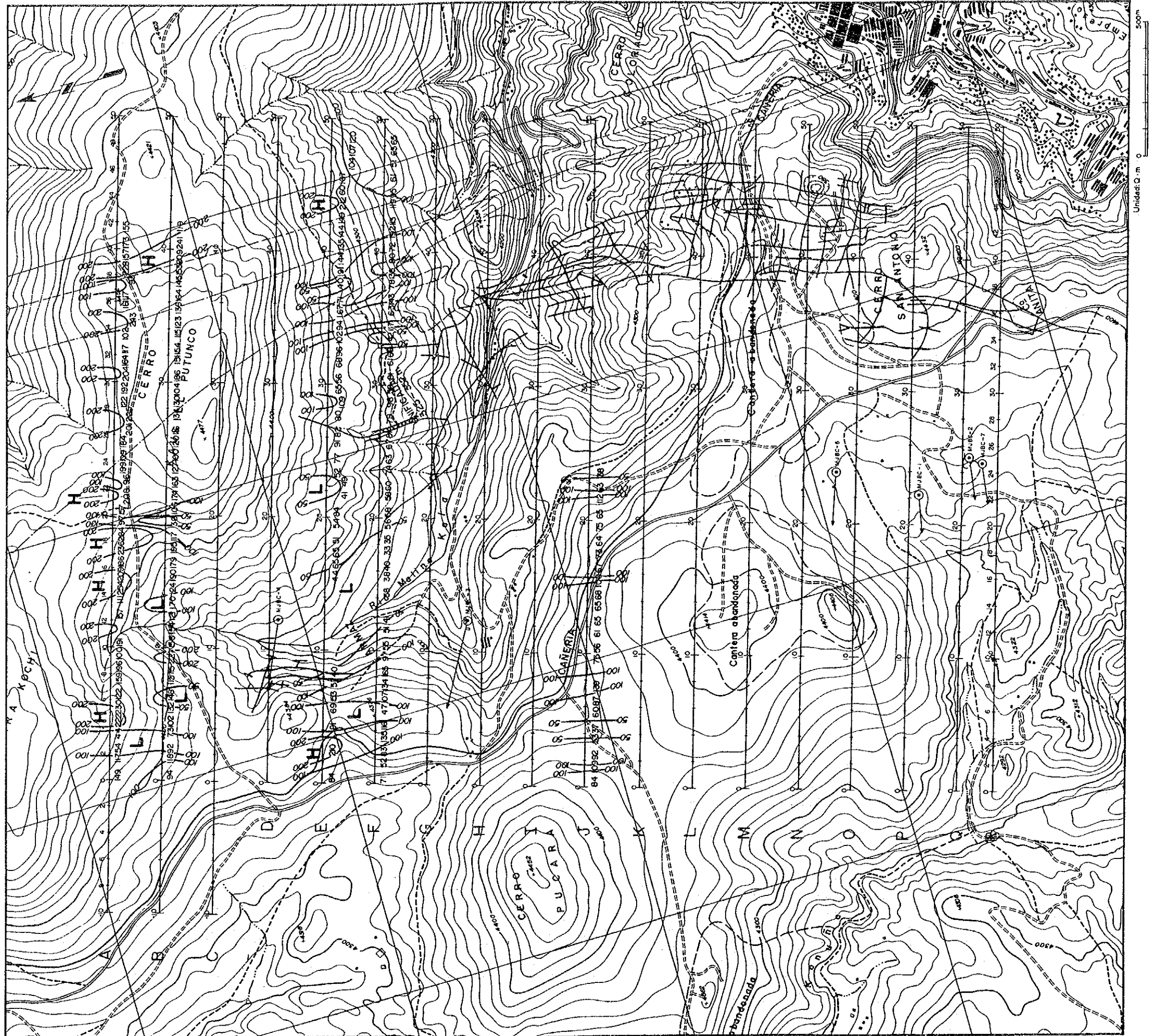


Fig. II -2-41 Plano de la Estructura de Resistividad (Altitud, 4,300m )

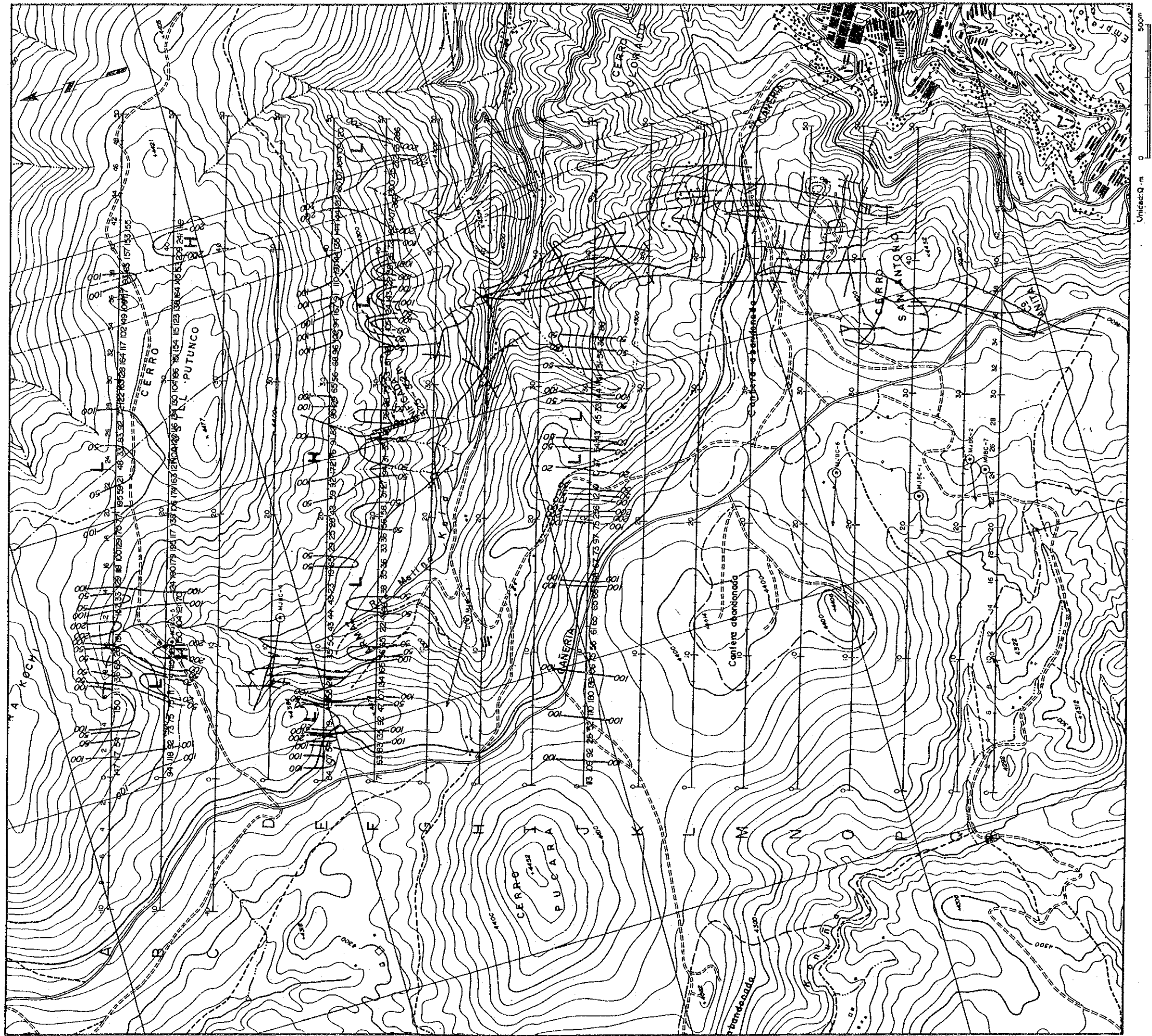


Fig. II -2-42 Plano de la Estructura de Resistividad (Altitud, 4,100m )

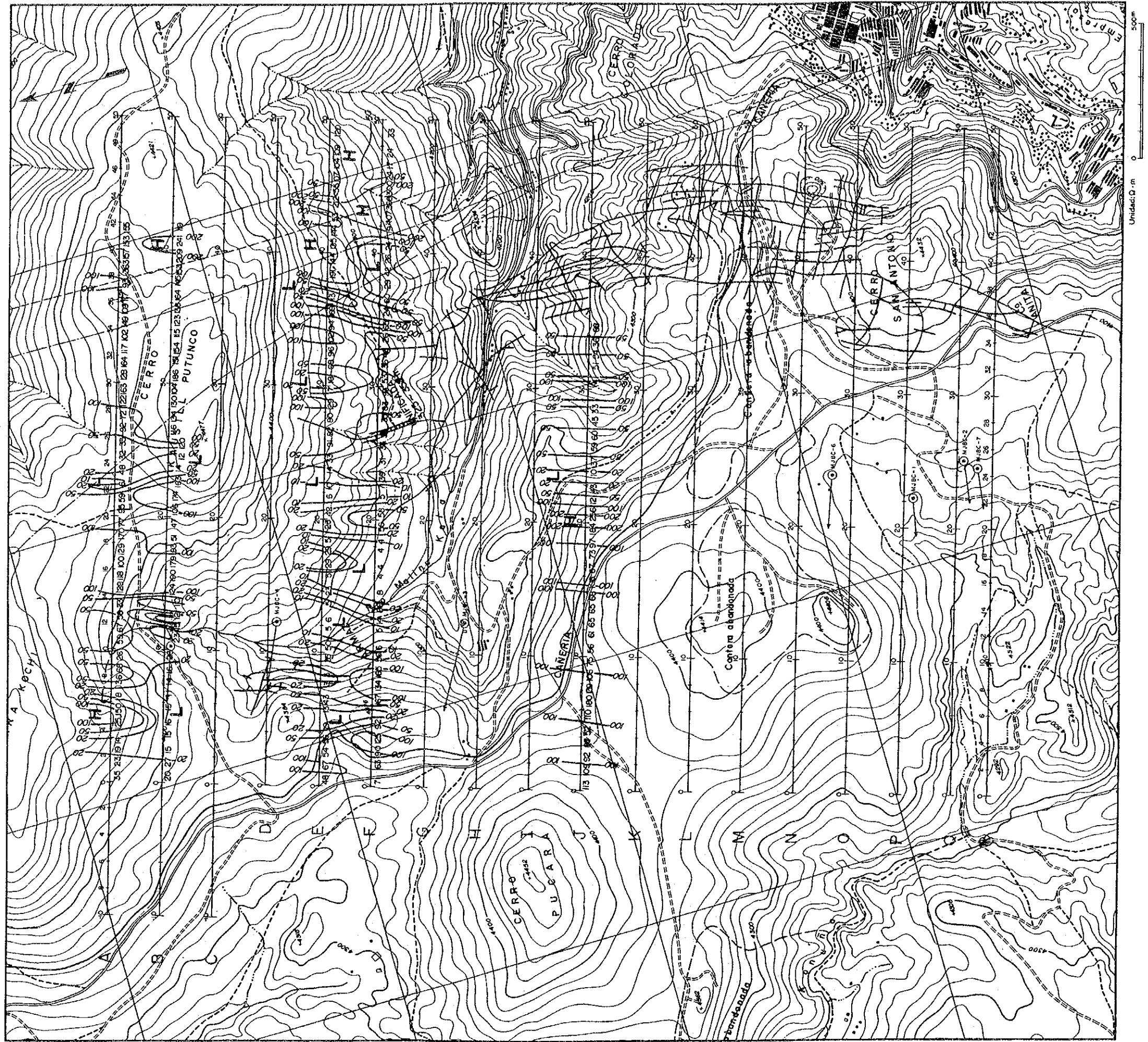


Fig. II -2-43 Plano de la Estructura de Resistividad (Altitud, 3,900m )



(Línea A)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en las estaciones 2~4, 6~10, 12~14 y 22~25 de la línea desde la parte poco profunda hasta la parte profunda.

Se extiende la zona de alta resistividad de más de  $100 \Omega \cdot m$  en la parte poco profunda de las estaciones 4~6, 14~36, 38~42.

Se calculó una zona de falla alrededor de las estaciones 4, 14 y 36.

(Línea B)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en la parte poco profunda de las líneas 6~8 y en la parte profunda de las estaciones 10~14, 18~20, 23~25.

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$ .

Se extiende la zona de alta resistividad de más de  $200 \Omega \cdot m$  en la parte poco profunda de las estaciones 14~21.

Se calculó una zona de falla en las estaciones 6 y 14.

(Línea E)

Se extiende ampliamente la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en las estaciones 8~23 desde la parte poco profunda hasta la profunda.

Se calculó una zona de falla en las estaciones 23 y 36.

(Línea F)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en las estaciones 5, 10~13, 14~19, 21~28, 33~34, 36~41 y 46~50 desde la parte poco profunda hasta la profunda.

(Línea J)

Se extiende la zona de baja resistividad de menos de  $50 \Omega \cdot m$  en las estaciones 22~29 y 33.

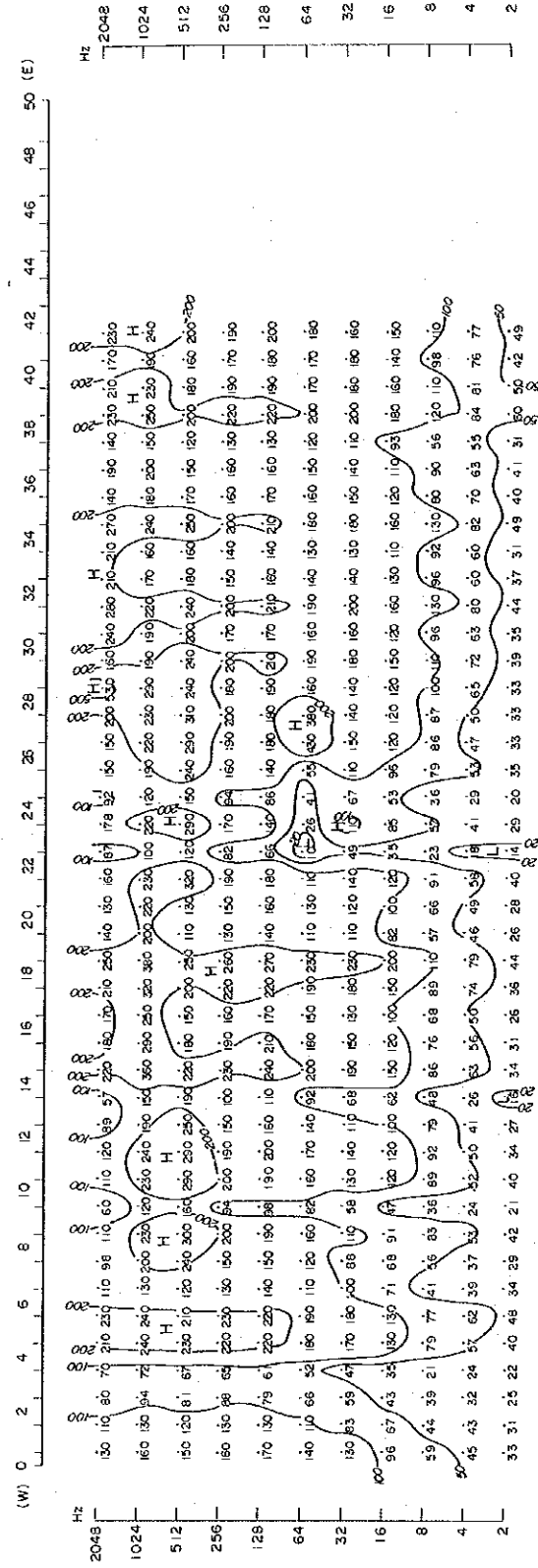
Se calculó una zona de falla en las estaciones 23, 29 y 33.



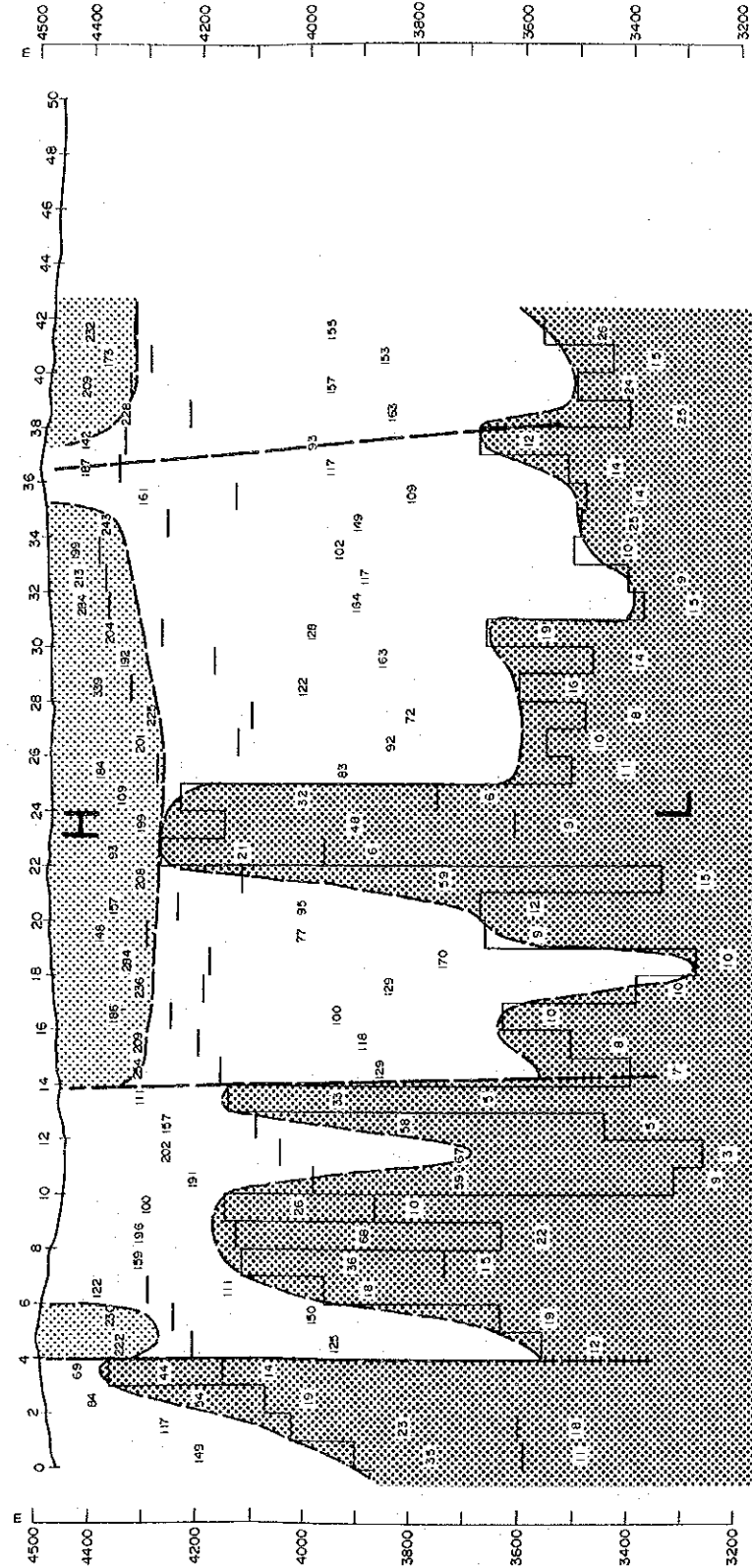




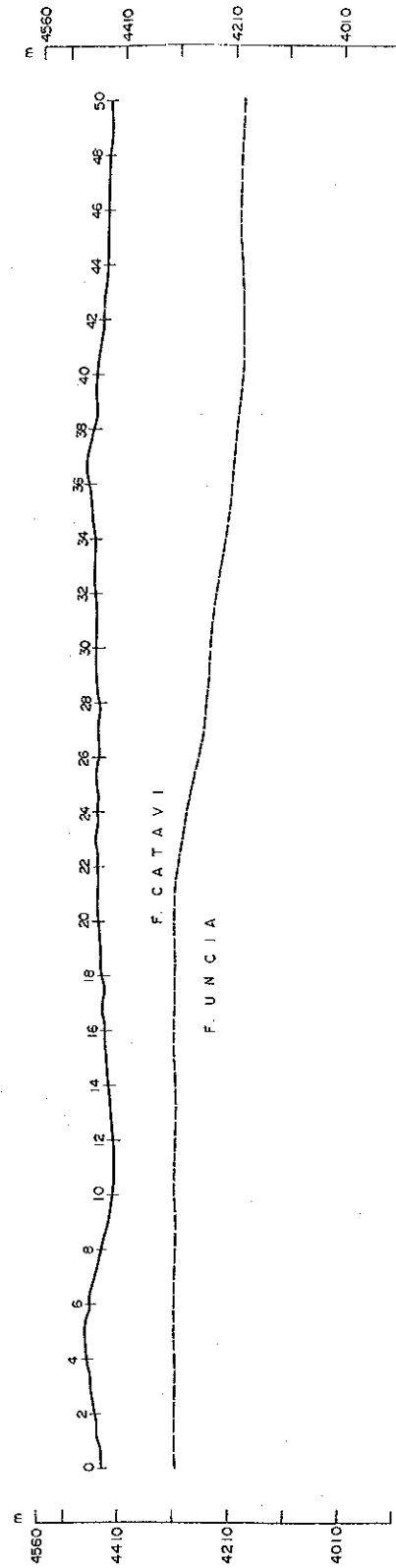
### Perfil de la Resistividad Aparente



### Perfil de la Estructura de Resistividad



### Perfil geológico



Leyenda

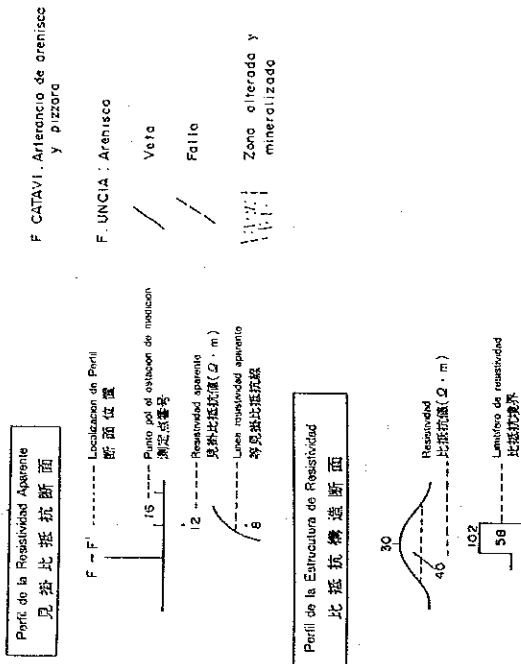
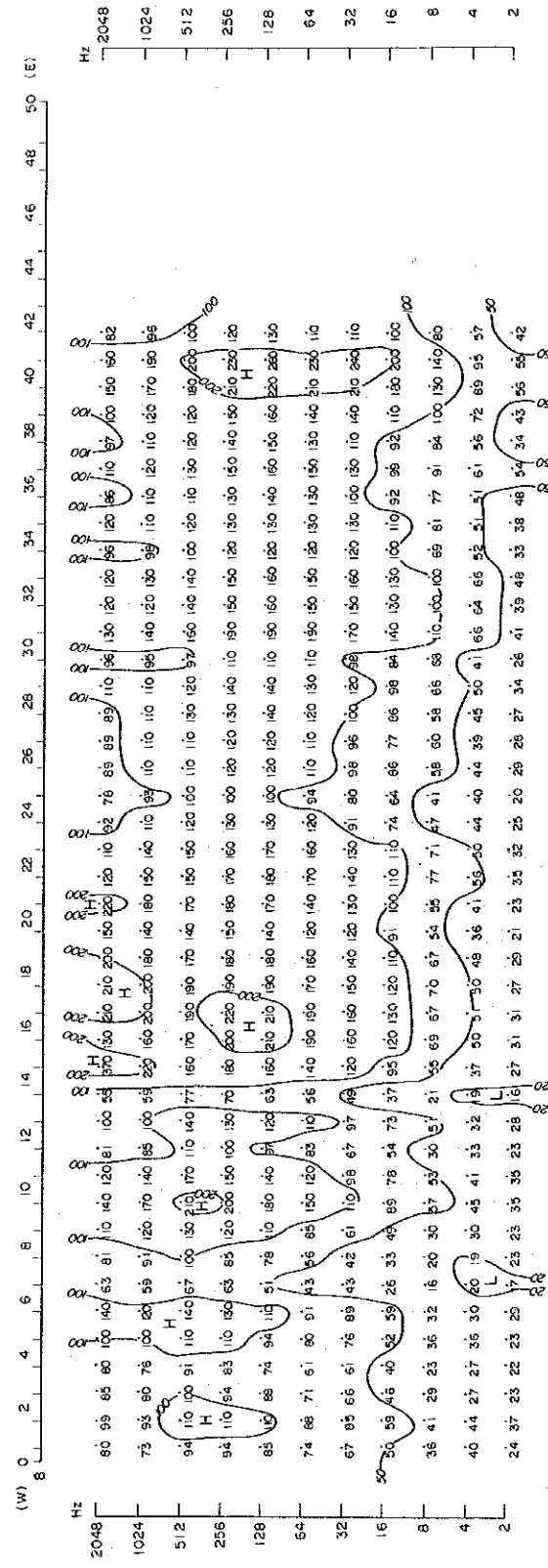
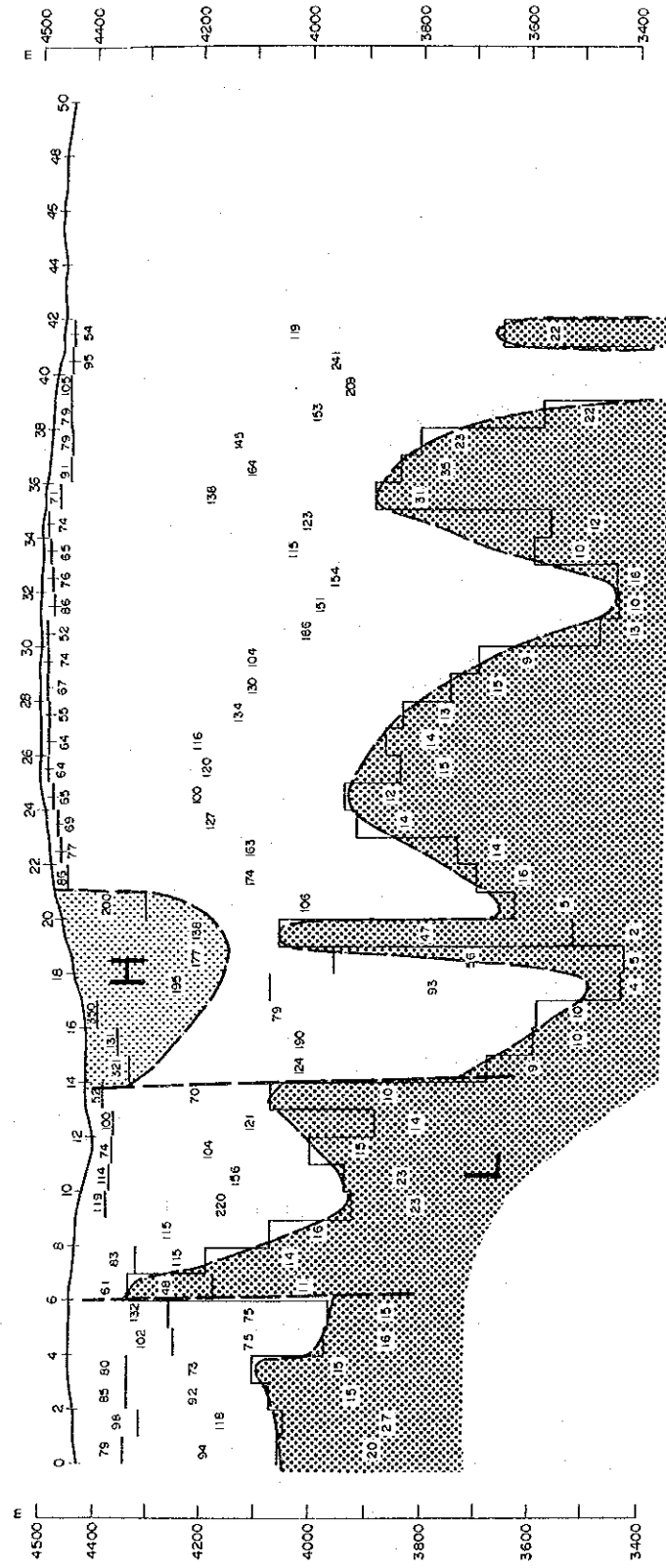


Fig. II -2-44 Perfiles de la línea A

### Perfil de la Resistividad Aparente



### Perfil de la Estructura de Resistividad



### Perfil geológico

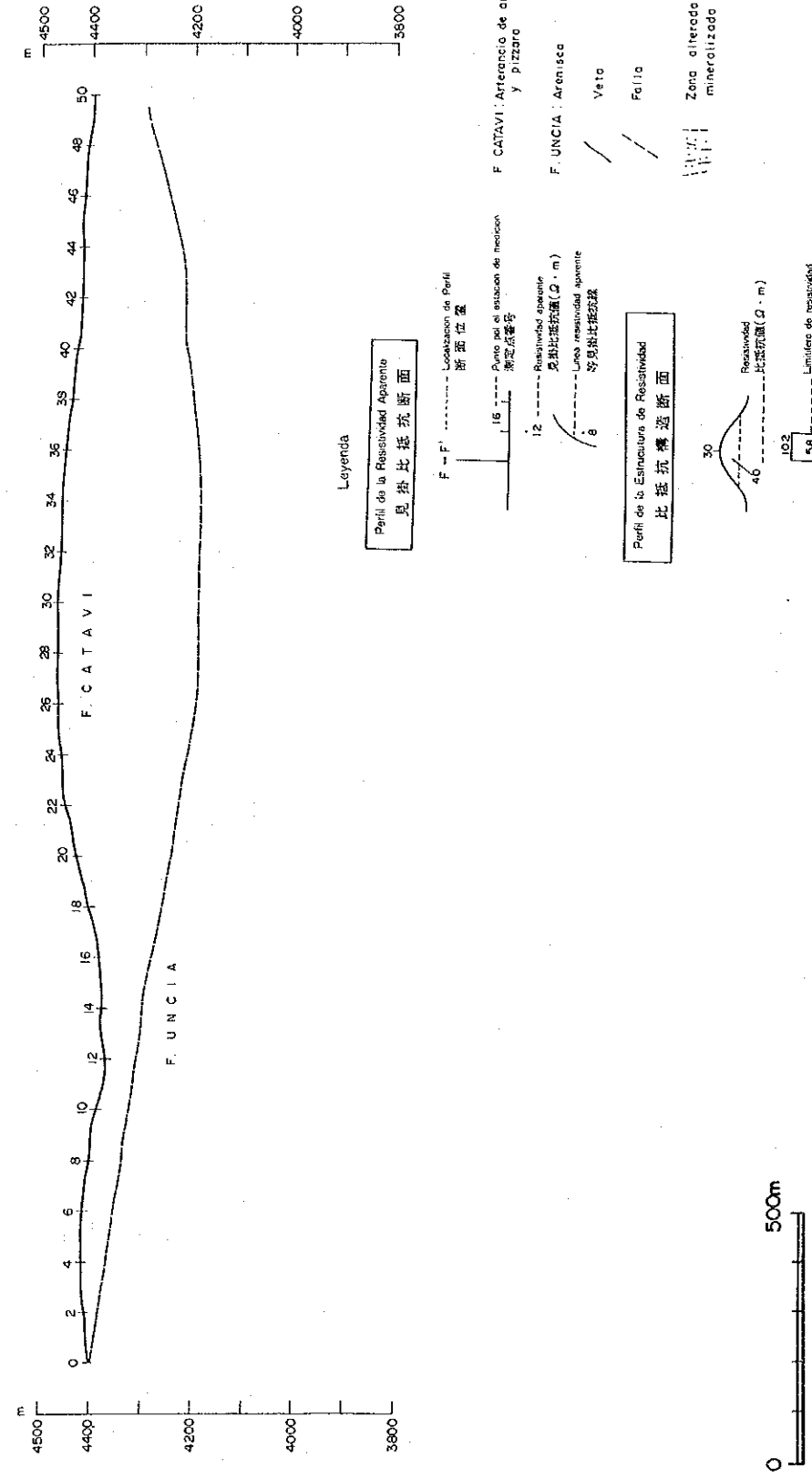
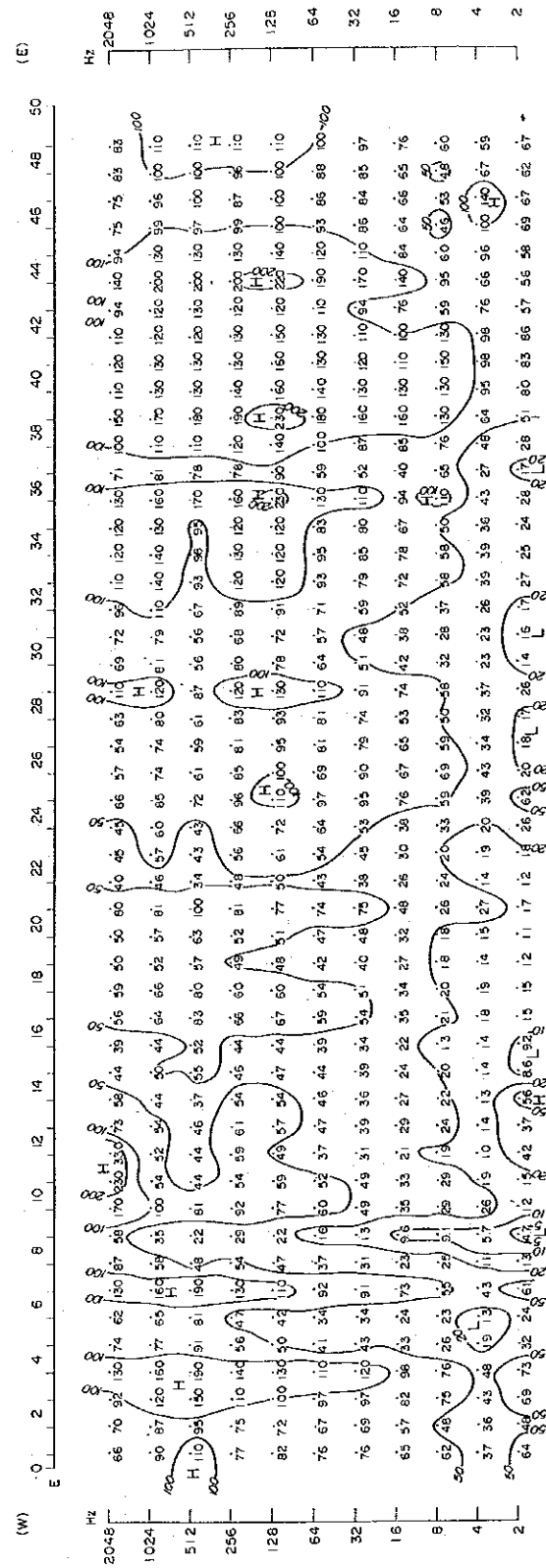
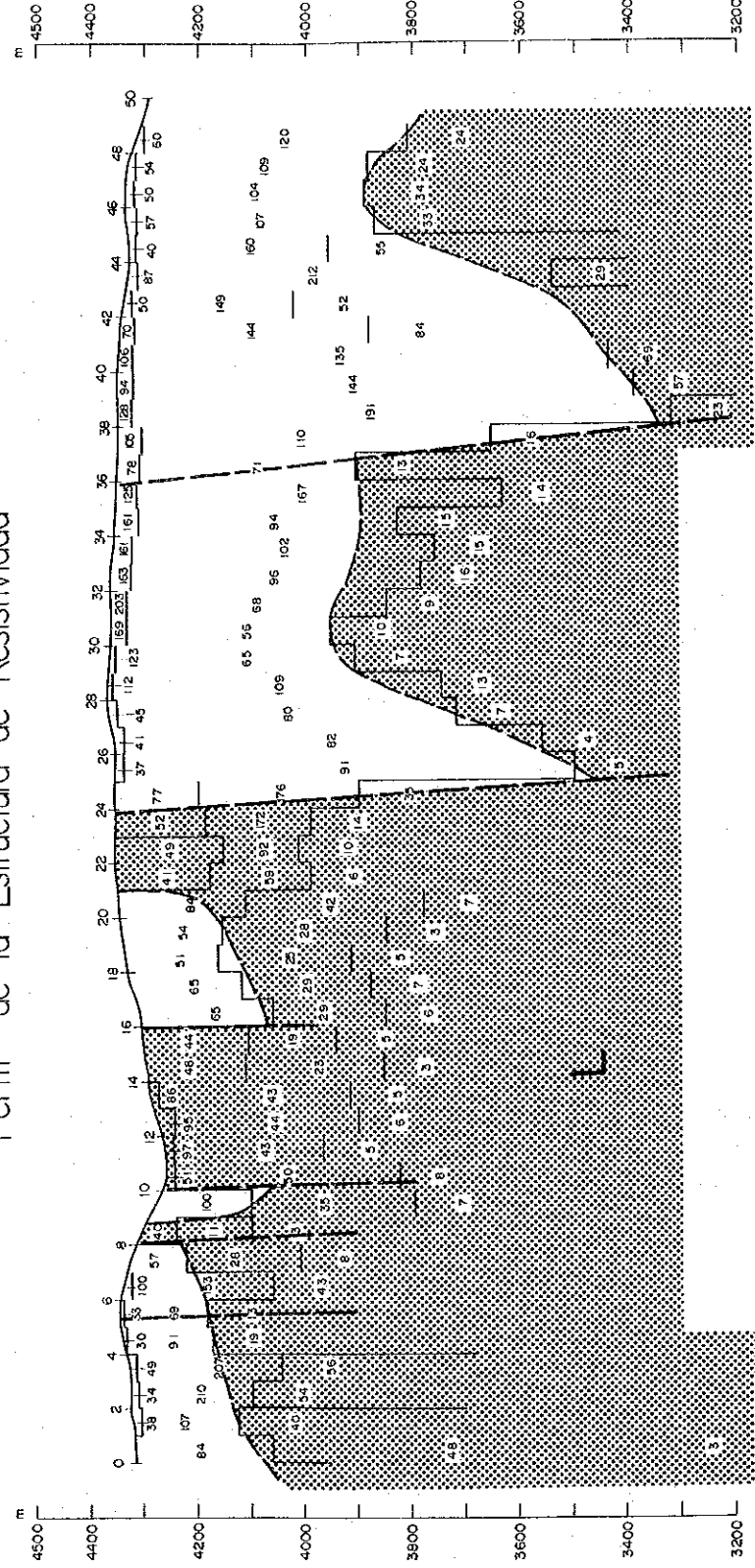


Fig. U -2-45 Perfiles de la línea B

# Perfil de la Resistividad Aparente



# Perfil de la Estructura de Resistividad



# Perfil geológico

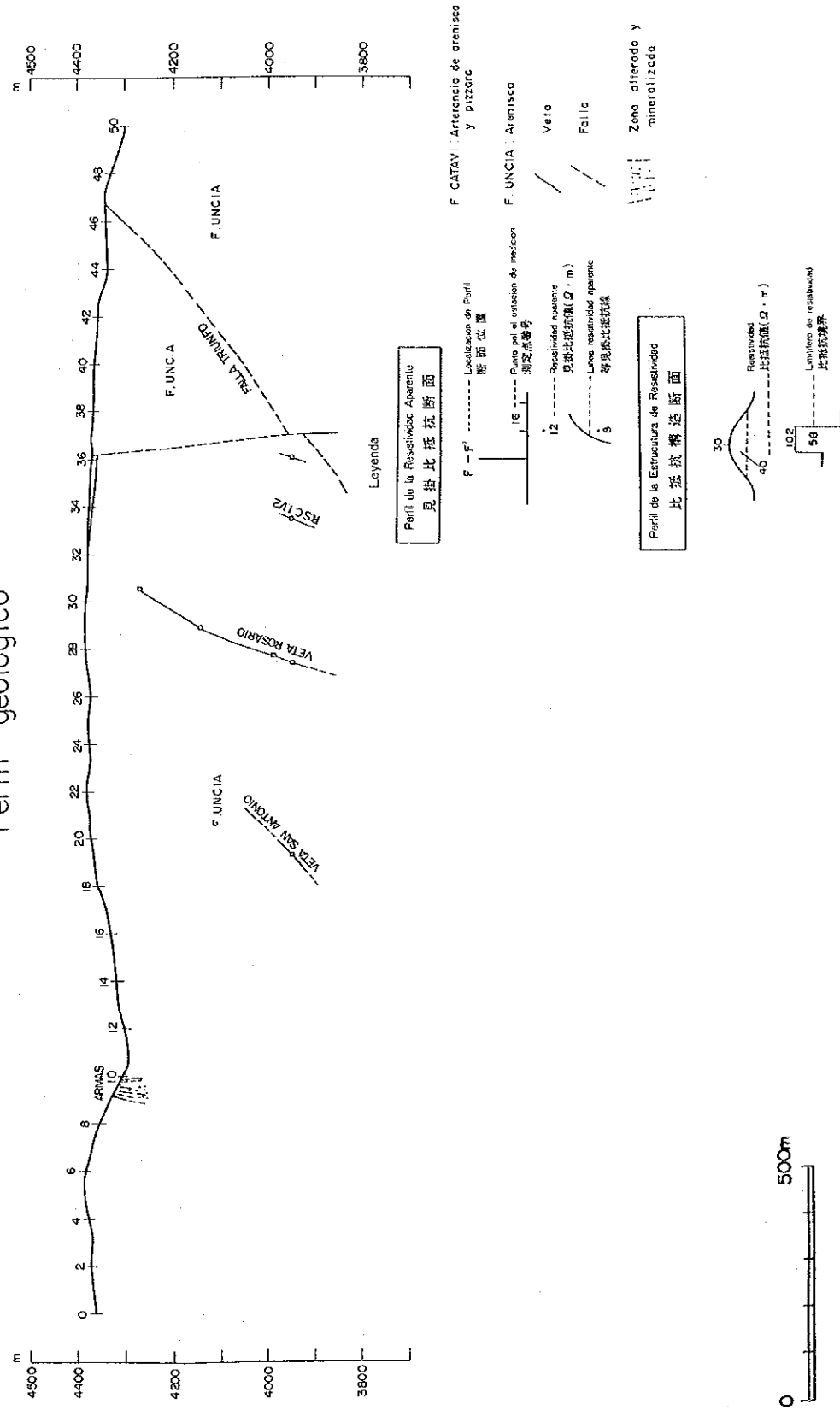


Fig. II -2-46 Perfiles de la línea E