

DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ECONOMICA

DEL PAIS

LA ECONOMIA DE LA GUERRA Y LA ECONOMIA DE LA PAZ

ANUARIO DEL SUR DE ANTONIO GARCIA

EN LA ECONOMIA DE LA GUERRA

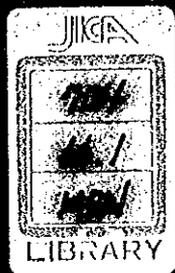
1986

1986

COMISION ECONOMICA PARA LA AMERICA LATINA Y EL CARIBE

ORGANIZACION MUNDIAL DEL COMERCIO

CR9



82PN  
6C  
20-12

708  
66-1  
1984

CR9



JICA LIBRARY



1065080[2]



**INFORME DE ESTUDIOS BASICOS  
SOBRE  
LA EXPLORACION DE RECURSOS MINERALES  
DEL  
AREA AL SUR DE ANTOFAGASTA  
DE LA REPUBLICA DE CHILE**

**FASE III**

**ENERO 1988**

**AGENCIA DE COOPERACION  
INTERNACIONAL DEL JAPON  
ORGANIZACION MINERA METALICA  
DEL JAPON**

国際協力事業団		
受入 月日	88/4.13	704
登録 No.	17500	66.1 MPN

## PREFACIO

En respuesta a la solicitud por el Gobierno de Chile, en el sentido de evaluar el potencial de recursos minerales en el sector sur de la región de Antofagasta, el Gobierno de Japón decidió llevar a cabo los estudios necesarios para tal fin, en el área propuesta, encargando su ejecución a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón ( JICA ).

Debido al carácter geológico de los estudios a realizar, dicha Agencia encomendó, a su vez, su concreción a la Organización Minera Metálica del Japón ( MMAJ ).

El presente informe contiene los resultados obtenidos en la Tercera Fase del estudio, correspondiente al año fiscal 1987. Para realizar esta fase, la Organización Minera Metálica del Japón envió a Chile una misión compuesta de siete expertos, entre el 5 de Julio y el 2 de octubre de 1987.

Expresamos nuestros sinceros agradecimientos a las diversas entidades y personas que han intervenido y colaborado en la ejecución de los estudios al Gobierno de Chile y sus organismos competentes, a los Ministerios de Relaciones Exteriores y Comercio Internacional e Industria del Japón, a la Embajada del Japón, a la Embajada del Japón en Chile y a las Empresas privadas participantes.

30 de enero de 1988



---

Kensuke YANAGIYA

Presidente

Agencia de Cooperación Internacional  
del Japón



---

Junichiro SATO

Presidente

Organización Minera Metálica del  
Japón

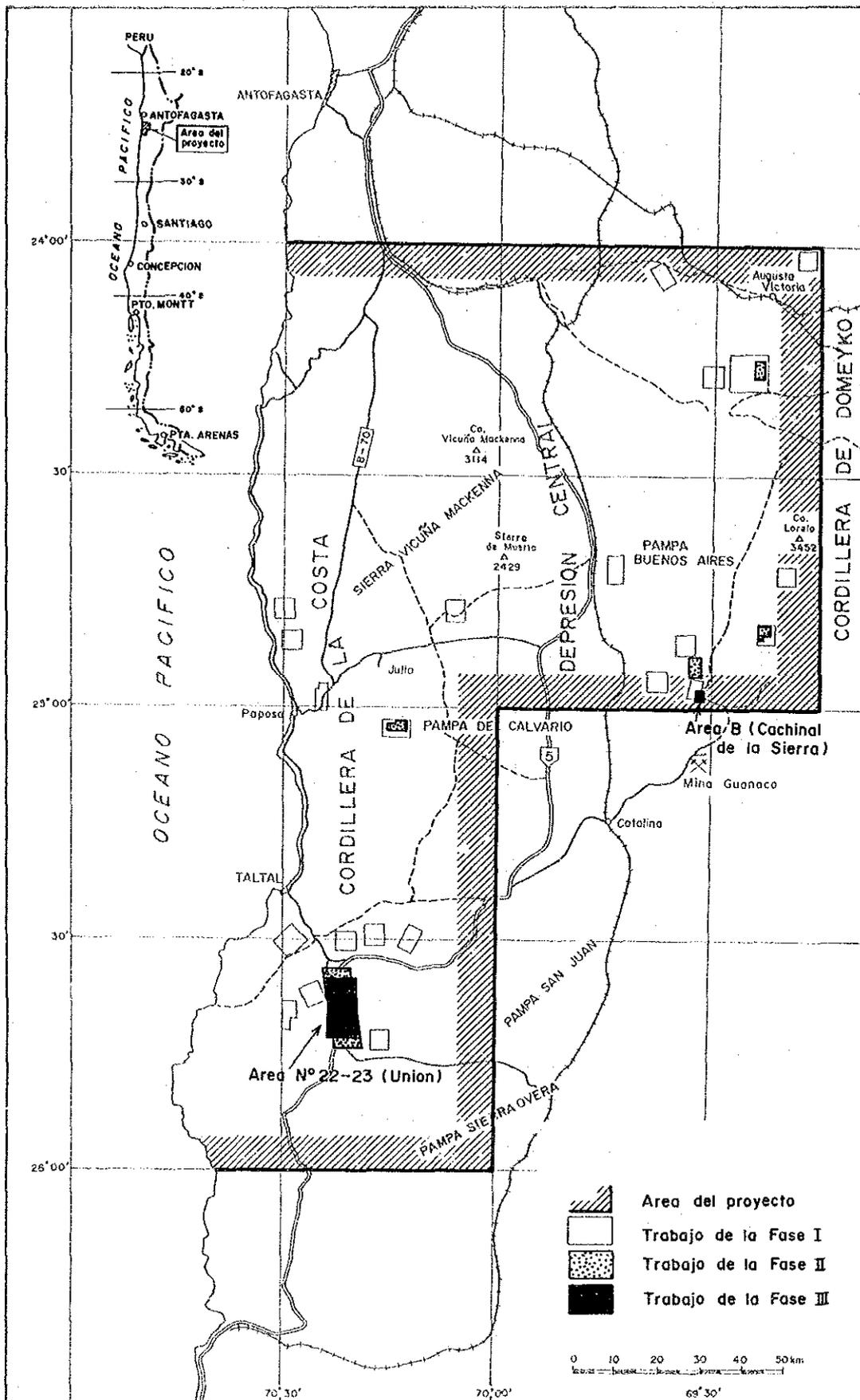


Fig. 1 Mapa de ubicación

## CONTENIDO

PREFACIO

Mapa de ubicación

Resumen

### PARTE I INTRODUCCION

Capítulo	1.	Generalidades .....	13
	1.1.	Historia del estudio realizado .....	13
	1.2.	Conclusiones y recomendaciones de los estudios de la fase I .....	13
	1.2.1.	Conclusiones .....	13
	1.2.2.	Recomendaciones .....	16
	1.3.	Generalidades de los trabajos realizados en la fase I .....	16
	1.3.1.	Areas de trabajo .....	16
	1.3.2.	Objetivos de trabajo .....	17
	1.3.3.	Método de trabajo .....	17
	1.3.4.	Miembros de los equipos .....	17
	1.3.5.	Periodo de trabajo .....	18
Capítulo	2.	Geografía .....	20
	2.1.	Topografía y hidrografía .....	20
	2.2.	Clima y vegetación .....	20
Capítulo	3.	Marco geológico .....	21
	3.1.	Area No.22-23 .....	21
	3.2.	Area B .....	23
Capítulo	4.	Consideraciones globales .....	23
	4.1.	Area No.22-23 .....	23
	4.2.	Area B .....	24
Capítulo	5.	Conclusiones y recomendaciones para el futuro ...	25
	5.1.	Conclusiones .....	25
	5.1.1.	Area No.22-23 .....	25
	5.1.2.	Area B .....	26
	5.2.	Recomendaciones para el futuro .....	27
	5.2.1.	Area No.22-23 .....	27
	5.2.2.	Area B .....	27

### PARTE II TRABAJOS REALIZADOS

Capítulo	1.	Area No. 22-23 (Yacimientos de Unión y de Atahualpa) .....	29
	1.1.	Métodos de trabajo .....	29
	1.2.	Estudio geofísico .....	29
	1.2.1.	Generalidades .....	29
	1.2.2.	Procesamiento de datos obtenidos y medición en muestras de roca .....	34
	1.2.3.	Resultados de la interpretación .....	42
	1.2.4.	Conclusiones del estudio geofísico .....	128
	1.3.	Exploración mediante sondaje en el área No.22-23 .....	131
	1.3.1.	Objetivos de trabajo .....	131
	1.3.2.	Métodos, equipos utilizados y trabajos realizados de los sondajes .....	131
	1.3.3.	Condiciones de perforación .....	135
	1.3.4.	Descripción de los sondajes .....	137
	1.3.5.	Consideraciones .....	162
Capítulo	2.	Area B (Yacimiento Cachinal de la Sierra) .....	169
	2.1.	Exploración mediante sondaje en el área B.....	169
	2.1.1.	Objetivos de trabajo .....	169
	2.1.2.	Métodos, equipos utilizados y trabajos realizados de los sondajes .....	170
	2.1.3.	Condiciones de perforación .....	172
	2.1.4.	Descripción de los sondajes .....	174
	2.2.	Consideraciones .....	213
	2.2.1.	Geología y estructura .....	213
	2.2.2.	Yacimientos .....	219

PARTE I CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL FUTURO

Capítulo	1.	Conclusiones .....	225
	1.1.	Area No. 22-23 .....	225
	1.2.	Area B .....	226
Capítulo	2.	Recomendaciones para el futuro .....	227
	2.1.	Area No. 22-23 .....	227
	2.2.	Area B .....	227
Referencias		.....	229
Apendices		.....	A1

## LISTA DE TABLAS

Tabla	1	Tipo de análisis
Tabla	2	Periodo de trabajo
Tabla I	-1	Lista de longitudes y número de estaciones de medida de cada perfil
Tabla I	-2	Lista de equipos de PIE y PI
Tabla I	-3	Resultado de pruebas en muestras de roca en laboratorio
Tabla II	-1	Ubicación, orientación e inclinación de los sondajes en el área No.22-23
Tabla II	-2	Resumen del trabajo mediante sondajes en el área No.22-23
Tabla II	-1	Ubicación, orientación e inclinación de los sondajes en el área B
Tabla II	-2	Resumen del trabajo mediante sondajes en el área B

## LISTA DE FIGURAS

Fig.	1	Mapa de ubicación
Fig. I	-1	Mapa de ubicación de perfiles de medición
Fig. I	-2	Medidas de P.I.E. en terreno
Fig. I	-3	Diagrama de bloque para mediciones de P.I.E
Fig. I	-4	Diagrama Cole-Cole
Fig. I	-5	Tipos de espectros
Fig. I	-6	Espectro de magnitud
Fig. I	-7	Espectro de fase
Fig. I	-8	Acoplamiento inductivo
Fig. I	-9	Equipo de laboratorio para medición de muestras de roca
Fig. I	-10	Histogramas de PEF y RA
Fig. I	-11	Seudosecciones de PEF y RA (Sector I)
Fig. I	-12	Seudosecciones de PEF y RA (Sector II)
Fig. I	-13	Seudosecciones de PEF y RA (Sector III)
Fig. I	-14	Plano de PEF (Sector I, n = 1)
Fig. I	-15	Plano de PEF (Sector I, n = 2)

- Fig. 1-16 Plano de PEF (Sector I, n = 3)
- Fig. 1-17 Plano de R A (Sector I, n = 1)
- Fig. 1-18 Plano de R A (Sector I, n = 2)
- Fig. 1-19 Plano de R A (Sector I, n = 3)
- Fig. 1-20 Plano de PEF (Sector II, n = 1)
- Fig. 1-21 Plano de PEF (Sector II, n = 2)
- Fig. 1-22 Plano de PEF (Sector II, n = 3)
- Fig. 1-23 Plano de R A (Sector II, n = 1)
- Fig. 1-24 Plano de R A (Sector II, n = 2)
- Fig. 1-25 Plano de R A (Sector II, n = 3)
- Fig. 1-26 Plano de PEF (Sector III, n = 1)
- Fig. 1-27 Plano de PEF (Sector III, n = 2)
- Fig. 1-28 Plano de PEF (Sector III, n = 3)
- Fig. 1-29 Plano de R A (Sector III, n = 1)
- Fig. 1-30 Plano de R A (Sector III, n = 2)
- Fig. 1-31 Plano de R A (Sector III, n = 3)
- Fig. 1-32 Seudosecciones de fase (Sector I)
- Fig. 1-33 Seudosecciones de fase (Sector II)
- Fig. 1-34 Seudosecciones de fase (Sector III)
- Fig. 1-35 Espectro de fase, magnitud y diagrama Cole-Cole  
(Sector I)
- Fig. 1-36 Espectro de fase, magnitud y diagrama Cole-Cole  
(Sector II)
- Fig. 1-37 Espectro de fase, magnitud y diagrama Cole-Cole  
(Sector III)
- Fig. 1-38 Seudosecciones de desacoplamiento de fase  
(Sector I)
- Fig. 1-39 Seudosecciones de desacoplamiento de fase  
(Sector II)
- Fig. 1-40 Seudosecciones de desacoplamiento de fase  
(Sector III)
- Fig. 1-41 Espectro de desacoplamientos de fase, magnitud y  
diagrama Cole-Cole (Sector I)
- Fig. 1-42 Espectro de desacoplamientos de fase, magnitud y  
diagrama Cole-Cole (Sector II)
- Fig. 1-43 Espectro de desacoplamientos de fase, magnitud y  
diagrama Cole-Cole (Sector III)
- Fig. 1-44 Simulación por modelo del perfil C
- Fig. 1-45 Simulación por modelo del perfil D
- Fig. 1-46 Tipos de espectro de fase en muestra de roca

- Fig. I -47 Anomalías geofísicas de PIE y PI
- Fig. II -1 Método de perforación
- Fig. II -2 Ubicación de sondajes, área No.22-23
- Fig. II -3 Descripción del sondaje MJC-16
- Fig. II -4 Descripción del sondaje MJC-17
- Fig. II -5 Descripción del sondaje MJC-18
- Fig. II -6 Mapa geológico, área No.22-23
- Fig. II -7 Perfil geológico, área No.22-23
- Fig. II -8 Relación entre anomalías de PI por simulación y geología
- Fig. II -1 Método de perforación en el área B
- Fig. II -2 Descripción del sondaje MJC-11
- Fig. II -3 Descripción del sondaje MJC-12
- Fig. II -4 Descripción del sondaje MJC-13
- Fig. II -5 Descripción del sondaje MJC-14
- Fig. II -6 Descripción del sondaje MJC-15
- Fig. II -7 Columna geológica generalizada del área B
- Fig. II -8 Mapa geológica, área B
- Fig. II -9 Perfiles geológicos, área B

## LISTA DE TABLAS DEL APENDICE

Tabla 1-1	Observación microscópica de secciones transparentes de rocas piroclásticas
Tabla 1-2	Observación microscópica de secciones transparentes de rocas plutónicas
Tabla 1-3	Observación microscópica de secciones transparentes de lavas
Tabla 2	Observaciones microscópicas de cortes pulidos
Tabla 3	Lista de análisis por difracción Rayos X
Tabla 4	Lista de análisis químico de menas
Tabla 5	Equipos de sondaje
Tabla 6	Cantidad de brocas de diamantinas usadas
Tabla 7	Insumos de sondaje
Tabla 8	Total de horas trabajadas en sondaje
Tabla 9	Trabajo realizado en el sondaje MJC-11
Tabla 10	Trabajo realizado en el sondaje MJC-12
Tabla 11	Trabajo realizado en el sondaje MJC-13
Tabla 12	Trabajo realizado en el sondaje MJC-14
Tabla 13	Trabajo realizado en el sondaje MJC-15
Tabla 14	Trabajo realizado en el sondaje MJC-16
Tabla 15	Trabajo realizado en el sondaje MJC-17
Tabla 16	Trabajo realizado en el sondaje MJC-18
Tabla 17	Desarrollo del sondaje MJC-11
Tabla 18	Desarrollo del sondaje MJC-12
Tabla 19	Desarrollo del sondaje MJC-13
Tabla 20	Desarrollo del sondaje MJC-14
Tabla 21	Desarrollo del sondaje MJC-15
Tabla 22	Desarrollo del sondaje MJC-16
Tabla 23	Desarrollo del sondaje MJC-17
Tabla 24	Desarrollo del sondaje MJC-18

## LISTA DE FIGURAS DEL APENDICE

- Fig. 1 Espectro de fase, magnitud y diagrama Cole-Cole de muestras y roca y mena
- Fig. 2 Procedimiento de perforación del sondaje MJC-11
- Fig. 3 Procedimiento de perforación del sondaje MJC-12
- Fig. 4 Procedimiento de perforación del sondaje MJC-13
- Fig. 5 Procedimiento de perforación del sondaje MJC-14
- Fig. 6 Procedimiento de perforación del sondaje MJC-15
- Fig. 7 Procedimiento de perforación del sondaje MJC-16
- Fig. 8 Procedimiento de perforación del sondaje MJC-17
- Fig. 9 Procedimiento de perforación del sondaje MJC-18

LISTA DE PLANOS FUERA DE TEXTO

PL. 1	Seudosecciones de PEF y RA (Sector I)	1:2.500
PL. 2	Seudosecciones de PEF y RA (Sector II)	1:2.500
PL. 3	Seudosecciones de PEF y RA (Sector III)	1:2.500
PL. 4	Plano de PEF (Sector I, n = 1)	1:2.500
PL. 5	Plano de PEF (Sector I, n = 2)	1:2.500
PL. 6	Plano de PEF (Sector I, n = 3)	1:2.500
PL. 7	Plano de R A (Sector I, n = 1)	1:2.500
PL. 8	Plano de R A (Sector I, n = 2)	1:2.500
PL. 9	Plano de R A (Sector I, n = 3)	1:2.500
PL. 10	Plano de PEF (Sector II, n = 1)	1:2.500
PL. 11	Plano de PEF (Sector II, n = 2)	1:2.500
PL. 12	Plano de PEF (Sector II, n = 3)	1:2.500
PL. 13	Plano de R A (Sector II, n = 1)	1:2.500
PL. 14	Plano de R A (Sector II, n = 2)	1:2.500
PL. 15	Plano de R A (Sector II, n = 3)	1:2.500
PL. 16	Plano de PEF (Sector III, n = 1)	1:2.500
PL. 17	Plano de PEF (Sector III, n = 2)	1:2.500
PL. 18	Plano de PEF (Sector III, n = 3)	1:2.500
PL. 19	Plano de R A (Sector III, n = 1)	1:2.500
PL. 20	Plano de R A (Sector III, n = 2)	1:2.500
PL. 21	Plano de R A (Sector III, n = 3)	1:2.500
PL. 22	Mapa geológico, área No.22-23	1:20.000
PL. 23	Ubicación de sondajes, área No.22-23	1:5.000
PL. 24	Mapa geológico y plano de ubicación de sondajes, área B	1:5.000
PL. 25	Perfiles geologicos, área B	1:2.500



superior a 2,0% de PEF.

Las zonas de anomalías geofísicas de valor superior a 2,5% de PEF se encuentran a una profundidad menor que 100m en los perfiles C,D y L, y en la cercanía de los 150m de profundidad en los perfiles C y E.

Dentro de ellas, sobre las anomalías del perfil C, de distribución más grande, se realizó un análisis por simulación, y se presumieron 2 fuentes de anomalía con forma tabular entre 30 y 60 m de profundidad.

Para reconocer las fuentes obtenidas de anomalía geofísica se perforaron 3 sondajes.

El resultado es de que todos los sondajes cortaron gravas no consolidadas del Cuaternario a profundidad de entre 80m y 100m, y por debajo de ellas hasta el fondo de los pozos se observan conglomerados de color rojo del Cretácico con vetillas y/o stockworks de calcita sin mineralización.

En la cercanía de las zonas de anomalía geofísica solo se encuentran las gravas consolidadas muy bajas de alta porosidad con abundantes granos de magnetita. De acuerdo a los resultados, la fuente de anomalía geofísica correspondería a ellas.

Basados en los resultados obtenidos, se considera que hay una baja posibilidad de encontrar yacimientos de dimensión similar a la del yacimiento Unión.

Además, la cantidad de erosión es muy grande entre los yacimientos Unión y Atahualpa, por lo tanto a pesar de que existiera mineralización, es difícil esperar reservas de mineral económico.

## 2) Area B

Esta área está situada aproximadamente 190km al sud-sudeste de Antofagasta dentro de la Pre-Cordillera de Los Andes.

Esta área se caracteriza por actividad volcánica de composición media a félsica, del Cretácico superior al Terciario inferior, y se compone principalmente en la parte inferior, del Cretácico superior por rocas volcánicas efusivas andesíticas y dioritas, y en la parte superior, del Paleógeno por rocas volcánicas efusivas dacíticas y rocas intrusivas dacíticas.

Un yacimiento de tipo vetiforme de plata-(plomo)-zinc se desarrolla en las rocas mencionadas anteriormente (yacimiento Cachinal de la Sierra). Se encuentran aproximadamente 20 vetas de dimensión relativamente grande.

La historia de producción del yacimiento es antigua, su descubrimiento fue a mediados del siglo 19, y actualmente está en producción.

Este yacimiento está encajado en las fracturas de dirección N-S, producidas por movimiento de la falla a fines de la etapa de actividad plutónica de composición félsica, desplazada horizontalmente por una falla post-mineralización, de dirección E-W.

Los sistemas de vetas principales son un sistema N10°W y otro N30°W con corrida de 500 a 1800m en ambos sistemas.

Se desarrollan numerosas vetas de dimensión pequeña con corrida de 100 a 400m en los alrededores de las vetas principales.

En este año, se realizó la exploración mediante sondajes, con objetivos de reconocer la prolongación de las vetas principales y la ubicación de otra veta nueva, paralela a las conocidas. Los objetivos detallados son los siguientes :

- ① reconocer la prolongación al norte de la veta J
- ② reconocer la veta nueva a lo largo de la falla inferida de dirección N-S
- ③ reconocer la prolongación al sur de la veta A

Los resultados de esta exploración son los siguientes :

① Se cortaron vetas de cuarzo-limonita que corresponderían a la prolongación de la parte norte de la veta J, por lo tanto la veta J continua, por lo menos, aproximadamente 500m más al norte del punto del sondaje B-1 de la segunda fase. Sin embargo, las leyes de elementos metálicos principales en las vetas son bajas.

② Debido a que no se encontró ninguna veta ni siquiera vetillas a lo largo de la falla, se supone que la falla inferida de dirección N-S se desarrollaría más al oeste contra toda expectativa, por lo cual hay muy poca posibilidad de encontrar vetas paralelas a las vetas principales.

③ La potencia de la veta A estaría disminuida en su prolongación al sur unos 400m respecto de la ubicación de la veta conocida.

En base de los resultados de estudios en esta área durante 3 años, se considera que se terminó la exploración para vetas principales. En consecuencia, se considera la necesidad de exploración en detalle para las vetas de pequeña dimensión que se

encuentran en el sector oeste de la falla inferida de dirección N-S.

PARTE I INTRODUCCION



## Capítulo 1. Generalidades

### 1.1. Historia del estudio realizado

En respuesta a lo solicitado por el gobierno de Chile para el estudio básico de la exploración minera en Chile, el gobierno de Japón ha enviado a Chile una misión previa en diciembre del año 1985 y ha firmado una esquema de trabajo con el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), contraparte en Chile, el 4 de mismo mes.

En la fase I se realizó una compilación de antecedentes y análisis de imágenes Landsat. En base a sus resultados se seleccionó 2 áreas para estudio de detalle y 20 áreas para estudio de semi-detalle. En ellas se realizó un levantamiento geológico y estudio geoquímico.

En la fase II, sobre la base de los resultados obtenidos en la fase I, se seleccionaron 4 áreas para estudio de detalle (2 áreas con estudio prolongado desde de la fase I, 2 áreas seleccionadas de las áreas del estudio de semi-detalle de la fase I), 4 áreas para estudio de semi-detalle, y se realizaron en ellas los siguientes estudios :

#### Áreas para estudio de detalle

- Area B : exploración mediante sondajes
- Area No.4 : levantamiento geológico y geoquímico
- Area No.6 : levantamiento geológico y geoquímico
- Area No.13 : Levantamiento geológico, geoquímico y exploración mediante sondajes

#### Áreas para estudio de semi-detalle

- Area No.21 : levantamiento geológico y geoquímico
- Area No.22 : levantamiento geológico
- Area No.23 : levantamiento geológico
- Area El Guanaco : levantamiento geológico

Como consecuencia de la fase II se seleccionaron las siguientes 2 áreas:

- ① Area B
- ② Area No.22-23

### 1.2. Conclusiones y recomendaciones de los estudios de la fase II

#### 1.2.1. Conclusiones

##### (1) Area No.21

En el sector este del área hay vetas con mineralización de

Ag, Pb y Zn, elongadas en dirección N-S. Algunas de ellas tienen una ley de Ag mayor que 1.000g/t.

Entre la mina El Soldado, por el norte y Cachinal de la Sierra, por el sur los análisis geoquímicos indican anomalías de Pb y de Zn, por lo que esta área tiene posibilidades de contener otros yacimientos.

## (2) Areas N°s 22 y 23

En estas áreas se ubica una gran zona de falla (Falla de Atacama), donde se emplazan yacimientos de Ag de alta ley (Mina Unión y Atahualpa). Sin embargo, la mayor parte de esta estructura está cubierta por sedimentos cuaternarios, por lo tanto se han conocidos solo 2 minas, Unión en operación y Atahualpa paralizada.

Se considera que estas áreas son de interés, especialmente en los sectores al norte y Sur de la falla donde se emplaza la mina Unión, porque la fractura es muy grande, por la existencia de yacimientos con alta ley de Ag en la cercanía, y porque queda gran parte del área sin exploración.

## (3) Area de la Mina El Guanaco:

En esta área se ubican los yacimientos auríferos de El Guanaco, El Inesperado y yacimientos tipo vetiforme y "stockwork", con cuarzo-especularita y zonas de silicificación y argilización.

En el sector de la mina "El Guanaco" se encuentra un cuerpo silicificado con oro, que presenta mineralización zonada verticalmente que de arriba hacia abajo contiene óxidos, sulfuros secundarios y sulfuros primarios. El oro se encuentra principalmente en las 2 primeras zonas mientras que en la última hay cobre principalmente.

La alteración relacionada con la mineralización es de tipo ácida, distinguiéndose una zonación que desde el centro hacia afuera es la siguiente: zona de cuarzo-alunita, zona de minerales de caolín y zona de sericita-clorita.

El yacimiento el Inesperado es de tipo vetiforme con mineralización de oro y cobre. Sin embargo, las vetas son pequeñas y la ley es baja, por lo tanto no presentan interés.

Las zonas de silicificación y argilización se desarrollan al sureste y oeste del área. La primera estaría relacionada con un pórfido cuarcífero, con silicificación y argilización leves. No contiene mineralización. La segunda zona, se caracteriza por una

fuerte alteración hidrotermal ácida en la que se desarrolla cuarzo-alunita, minerales de caolín, asociados a un stockwork y a vetas de cuarzo-especularita. Sin embargo, éstas presentan baja ley de Au, Ag y Cu. Considerando la gran extensión de esta última zona (5x4 km), se considera probable la existencia de otros yacimientos dentro de ella.

(4) Area No.4

El objetivo del estudio en esta área era determinar la existencia en profundidad de un yacimiento de oro de importancia económica, considerando que la asociación de minerales de alteración es favorable para la depositación de oro. Sin embargo, los resultados geoquímicos son negativos, lo que hace pensar que a pesar del ambiente favorable, las soluciones hidrotermales habrían tenido un bajo contenido de oro.

(5) Area No.6

En esta área se reconocieron unas 140 vetas de cuarzo con pequeñas cantidades de Pb, Zn y Cu. Se considera que las leyes no aumentan en profundidad por lo que no se justifica la continuación de estudios adicionales en esta área.

(6) Area B

Durante esta fase se perforaron 8 sondajes de 100m cada uno en el área B. La interpretación de los resultados obtenidos en el área B es la siguiente:

- 1) El origen del yacimiento está directamente relacionado con una falla de dirección N-S.
- 2) Estas vetas habrían sido desplazadas por fallas transformacionales E-W.

Considerando estos dos puntos se estima que existen 3 zonas favorables para encontrar nuevas vetas en el área.

- 1) Sector norte de veta J (Sector norte del sondaje B-1)
- 2) Sector a lo largo de la falla inferida N-S, al oeste de la veta J (veta Carmen)
- 3) Sector norte y sur de la veta A (veta Flor de Chile)

(7) Area N° .13

En esta área se reconocieron unas 20 nuevas vetas de cuarzo con oro y se detectaron una anomalía de cobre al noroeste de la mina Panchita, y de oro al oeste de la mina Carmen Alto.

Con estos antecedentes es posible detectar nuevos cuerpos mineralizados similares a los descritos. Sin embargo, considerando el tamaño y las leyes de oro de las vetas conocidas, se estima que estos carecerían de interés económico.

Los sondajes perforados cortaron en profundidad (50m a 70m) vetas reconocidas en superficie. Sin embargo, las leyes son bajas, la roca huésped adyacente a las vetas está fresca y débilmente fracturada.

En consecuencia, no se justifican nuevos estudios en esta área.

#### 1.2.2. Recomendaciones

Se recomiendan efectuar estudios adicionales en las siguientes áreas:

1) Área N° 21 : desarrollar trincheras y sondajes en el sector noreste del área.

2) Área N°s 22 y 23 : realizar estudios geofísicos mediante polarización inducida espectral (SIP) y perforar sondajes en la zona comprendida entre las minas Unión y Atahualpa.

3) Área B : la perforación de sondajes en las siguientes áreas :

- ① Sector norte y sur de la veta A.
- ② A lo largo de la falla inferida Norte-Sur, al oeste de la veta J.
- ③ Sector norte del sondaje B-1.

#### 1.3. Generalidades de los trabajos realizados en la fase I

##### 1.3.1. Áreas de trabajo

Los trabajos de la tercera fase se realizaron en las siguientes áreas:

- ① Área N° 22-23
- ② Área B

Estas áreas se indican en Fig. 1., y están limitadas con siguientes coordenadas:

<u>Área N° 22-23</u>	<u>Área B</u>
Limite norte : 25° 34' 50" Lat.Sur	24° 56' 43" Lat.Sur
Limite sur : 25° 43' 31" Lat.Sur	24° 59' 25" Lat.Sur
Limite este : 70° 18' 56" Long.Oeste	69° 32' 42" Long.Oeste
Limite oeste : 70° 23' 06" Long.Oeste	69° 30' 54" Long.Oeste

### 1.3.2. Objetivos de trabajo

#### (1) Area N° .22-23

Se realizaron un estudio geofísico y una exploración mediante sondajes para investigar la posible continuidad de los cuerpos mineralizados bajo la cubierta sedimentaria reciente en el sector entre las minas Unión y Atahualpa

#### (2) Area B

La exploración mediante sondajes se efectuó con los objetivos de reconocimiento de extensión de las vetas J y A , y de existencia de vetas paralelas a la veta J.

### 1.3.3. Método de trabajo

#### (1) Area N° .22-23

##### Estudio geofísico

Se realizó en estudio geofísico de Polarización Inducida Espectral

( P.I.E) y Polarización Inducida(P.I.). Se hicieron 6 km de perfiles para P.I.E. y 6 km para P.I. La ubicación de perfiles se indica en la Fig.1-1.

Espaciamiento entre perfiles : 300m

Configuración electródica : arreglo dipolo - dipolo, con separación entre electrodos de 100 m.

Coefficiente de separación electródica :  $n = 1$  a  $5$

Método de medición : frecuencia variable.

##### Exploración mediante sondajes

Se realizaron 3 sondajes con 150,5m de profundidad c/u, y 60° de inclinación, para reconocer las anomalías geofísicas .

Se utilizó el metodo wire-line con diámante tipo NQ perforándose el relleno de gravas con brocas de tricono. El tipo de casing que se utilizó fué HW y NW.

#### (2) Area B

##### Exploración mediante sondajes

Se realizaron 5 sondajes con 150,5m de profundidad c/u, en total 752,5m, y con 60° de inclinación. El método de perforación fue similar al del área N° .22-23.

### 1.3.4. Miembros de los equipos

Los miembros de los equipos para esta fase son los siguientes

(1) Planificación y administración

Contraparte japonesa

Yozo BABA (MMAJ)

Naotaka ADACHI (MMAJ)

Kenzo HAGUIO (MMAJ en Peru)

Contraparte chilena

Maria Teresa CAÑAS PINOCHET (director, SERNAGEOMIN)

Jorge SKARMETA MAGRI (sub-director, SERNAGEOMIN)

(2) Expertos

Contraparte japonesa

Yuya FURUKAWA (Jefe de expertos, MMAJ)

Ken-ichi NOMURA (geofísico, MMAJ)

Saburo TACHIKAWA ( id )

Norikiyo SUGUIURA ( id )

Toziro KAGA (ingeniero perforista, MMAJ)

Shigeshiro HATAZAWA ( id )

Hiroshi ISHIKAWA ( id )

Contraparte chilena

Carlos PORTIGLIATI NAVARRO (SERNAGEOMIN)

Juan C. PARRA ESPINOSA (geofísico, SERNAGEOMIN)

Manuel ARANCIBIA ( id )

1-3-5 Periodo de trabajo

El periodo de trabajo se indica en la Tabla 2.

Tabla 1 Tipo de análisis

Tipo de analisis	Area No.22-23	Area B	Total
Análisis químico de mena	15	121	136
Sección transparente	-	13	13
Sección pulido	1	13	14
Difracción rayos X	-	19	19
Pruebas en muestras de roca en laboratorio	41	-	41

Tabla 2 Periodo de trabajo

Area	Tipo de trabajo	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.
No.22 -23	Est. geofísico	5 ---	9					
	Sondeo		2 4 ---	2				
B	Sondeo	5 ---	2 3					
	Inter.y informe				8			3 0

--- : Trabajo en Chile

..... : Trabajo en Japón

## Capítulo 2. Geografía

### 2.1. Topografía y hidrografía

#### Area No.22-23

Desde el punto de vista geográfico la parte septentrional de Chile se divide en tres partes, o sea, la Cordillera de la Costa, la Depresión Central y la Pre-Cordillera de los Andes. Esta área pertenece a la Cordillera de la Costa.

Esta zona está limitada por tierras montañosas con altitudes aproximadas a los 1000m sobre el nivel del mar al este y al oeste, que dejan una cuenca oblonga que se desarrolla con su dirección mayor en sentido N-S, constituyendo una zona de falla en forma de graben( Falla de Atacama) en la dirección N-S que se describe más adelante en el presente informe.

La hidrología tiene configuración subdendrítica y los sistemas hidrográficos E-W convergen a los ríos principales que fluyen del norte al sur a lo largo de la cuenca.

La totalidad del sistema hidrográfico consta de ríos temporalmente secos donde el agua superficial aparece con intervalos superiores a 10 años.

#### Area B

Esta área pertenece a la Pre-Cordillera de los Andes y está situada al pie del Cerro Peñafiel(3.159m s.n.m.) que forma parte de la Sierra Peñafiel. En la vecindad de ésta área se extiende hacia el este un abanico que tiene dicho cerro como "hinterland". La altitud de la vecindad es de aproximadamente 2.700m s.n.m.

Hay muchos ríos anchos, rasos y paralelos unos a otros que cruzan esta área en la dirección E-W. Todos estos ríos están actualmente secos.

### 2.2. Clima y vegetación

Ambas áreas forman parte del Desierto de Atacama, que es una de las áreas más secas del mundo. La precipitación anual llega a aproximadamente 25mm en el área No.22-23 puesto que se halla próxima al Océano Pacífico pero en el área B es inferior a 10mm.

La temperatura del área No.22-23 es de aproximadamente 20°C durante el día, sin grandes diferencias según las estaciones del año. Sin embargo, en el área B la temperatura llega a aproximadamente 20°C durante el día en el verano pero durante la

noche en el invierno baja hasta  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $-10^{\circ}\text{C}$  llegando a nevar ligeramente algunas veces al año.

En vista de las severas condiciones naturales antesdichas, no hay prácticamente ninguna vegetación en el área B, en cambio, en el área No.22-23 hay una vegetación dispersa que se compone de cactus, hierba y arbustos de hojas duras.

### Capítulo 3. Marco geológico

#### 3.1. Area No.22-23

La falla de Atacama con un ancho aproximado de 5,5km se extiende en la dirección NNW-SSE en el centro de esta área.

Paralelamente a la falla se distribuyen la unidad paleozoica al este, la unidad cretácica en la zona de falla y la unidad jurásica al oeste. Los sedimentos no consolidados del Cuaternario sobreyacen a las unidades pre-cuaternarias.

Cerca del borde este de la falla, afloran paralelamente a ella, rocas intrusivas de composición variable de mafica a félsica.

La unidad paleozoica está constituida por cuarcitas de color rojo pardo, de origen sedimentario, de edad Ordovícico-Devónico (Naranjo y Puig, 1984), que se correlacionan con la formación Las Tortolas (Ulriksen, 1979).

La unidad jurásica está principalmente constituida por lavas andesíticas con intercalaciones de rocas piroclásticas andesíticas, y está correlacionada a la formación La Negra (Gracia, 1967).

La unidad cretácica se divide principalmente en dos unidades llamadas informalmente Estratos inferiores y Estratos superiores.

El primer corresponde a rocas sedimentarias marinas constituidas por conglomerados rojos, areniscas rojas, lutitas calcáreas y calizas fosilíferas. El segundo corresponde a rocas efusivas andesíticas constituidas por lavas y rocas piroclásticas.

Esta unidad se correlaciona con la Formación Aeropuerto de Ulriksen (1979), de edad cretácica inferior (Naranjo y Puig, 1984).

No se conoce la relación entre las unidades jurásica y cretácica debido a la presencia de una falla a lo largo del contacto entre ambas unidades. Sin embargo, según Naranjo y Puig (1984) las dos unidades son concordantes.

La unidad cuaternaria corresponde a sedimentos aluviales, fluviales y coluviales, constituidas por gravas polimícticas no

consolidadas, con amplia distribución en el área estudiada.

Las rocas intrusivas están constituidas por diorita, granodiorita, pórfido dacítico, dacita y basalto, de edad posterior al Cretácico inferior, siendo diorita más antigua y basalto más nuevo.

La falla de Atacama forma un graben cuyo sector interior está relativamente hundido y la parte exterior está levantada. La unidad paleozoica que se distribuye en el sector exterior tiene una estructura monoclinial con rumbo E-W y inclinación de 15°~40° S.

Por otro lado la estructura de la unidad cretácica del área al interior de la zona de falla está bastante desordenada en la vecindad de la falla, pero, de una manera general se extiende en la dirección NNW-SSE y presenta un ligera inclinación hacia el este.

Por otro lado, en la vecindad de los yacimientos Unión y Atahualpa se halla una estructura en forma de domo que se extiende en forma oblonga en dirección paralela a la falla.

Gran número de yacimientos de tipo vetiforme y localmente del tipo diseminación se desarrollan en esta área, principalmente en el interior de la falla de Atacama.

Estos yacimientos se clasifican en dos tipos mencionados a continuación según la combinación de minerales principales.

El primer tipo consta de la combinación de minerales de cobre con plata y calcita, siendo representado por los yacimientos Unión y Atahualpa.

Por otro lado el segundo tipo consta de la combinación de minerales de cobre con oro y hematita, siendo representado por el yacimiento Isleña.

La unidad huesped del yacimiento del primer tipo es el Estrato Inferior, del Cretácico y el yacimiento se emplaza en parte en la Falla de Atacama. Este yacimiento tiene acentuada continuidad y gran escala. El yacimiento Unión que está actualmente en producción se divide en la zona superior de plata y en la zona inferior de cobre.

Según datos relativos a julio de 1986 las leyes promedias de mineral crudo son Au:0,25g/t, Ag:202,7g/t, Cu:0,40%. Sin embargo, en algunos lugares se producen altas leyes de plata, superiores a 1000g/t de Ag.

Se considera que los yacimientos Unión y Atahualpa estarían

situados en la misma falla.

Por otro lado, las vetas de oro - cobre - hematita se alojan en el Estrato Superior del Cretácico, y tienen algunas decenas de metros de corrida, con una potencia promedio de 0,2m, y con una ley promedio de 5 a 8g/t de Au, localmente alcanzando 30g/t de Au.

### 3.2. Area B

La geología de esta área está constituida por rocas efusivas andesíticas del Cretácico, y dacíticas del Paleógeno, y sedimentos aluviales, fluviales y coluviales constituidas por gravas polimícticas no consolidadas del Cuaternario, con una distribución que alcanza al 60% de la totalidad del área e intrusivos de edad terciaria.

Existe un período corto de erosión entre la actividad volcánica cretácica y paleógena.

Las rocas intrusivas corresponden a diorita, dacita y basalto.

En esta área se presentan dos fallamientos, el más antiguo de ellos con dirección N-S y otro más reciente con dirección E-W.

El fallamiento más antiguo estaría relacionado directamente y/o indirectamente con el emplazamiento del yacimiento de Cachinal de la Sierra.

El otro más reciente tuvo lugar después de la mineralización, trasladando lateralmente las vetas.

En esta área se desarrollan numerosas vetas de plata, plomo y zinc (yacimiento de Cachinal de la Sierra), estrechamente relacionadas con la actividad ígnea de composición félsica del Terciario Inferior.

Las vetas principales de dirección N-S son aproximadamente 20 con corridas de 200 a 1800m y con profundidades de 50 a 150m. La potencia varía 1 a 2m, con la ley promedio de Ag de 300~500g/t, siendo baja ley de Pb y Zn.

## Capítulo 4. Consideraciones globales

### 4.1. Area No.22-23

#### Relación entre resultados del estudio geológico y de la exploración mediante sondajes

Se considera que existirían anomalías de PI con un valor de 3,5% de PEF por simulación entre las estaciones de 1 a 4 y de 7 a 9, del perfil C. Las dos zonas de anomalía están situadas entre

los 30 a 60 m de profundidad con amplitudes aproximadas de 270m en la primera y de 190m en la segunda, de forma tabular, y con un ancho vertical de s 30m respectivamente.

Estas zonas de anomalía están situadas en la parte central estratos de gravas, distribuyéndose concordantemente a la estratificación del estrato.

La consolidación de los estratoawde gravas es más baja en la parte superior a 50m de profundidad, con una aparente porosidad alta, mientras que la consolidación es más alta en la parte inferior del estrato. El contacto entre diferentes grados de consolidación casi coincide con el base de la zona de anomalía por simulación.

La matriz de las gravas contiene abundante granos de magnetita. Las gravas no tiene clastos ni granos, de mineral sulfuradoso.

De acuerdo a lo escrito anteriormente, la fuente de anomalías de PI estaría relacionadas con los sedimentos cuaternarios caracterizados por como se ha los escritos arriba.

#### 4.2. Area B

##### La potencialidad de existencia de yacimientos en el sector sur del yacimiento de Cachinal de la Sierra

La veta A consiste en cuarzo, galena con plata, blenda y calcopirita, con una potencia 1 a 2m, con rumbo e inclinación de N10°W/85°E, y con una textura brechosa que rellenan los minerales, entre los fragmentos de brechas dacíticas principalmente.

Las vetas que se reconocieron en los sondajes, son solo vetillas y no tienen textura brechosa como la de la veta A. En consecuencia, por lo menos una de ellas correspondería a la prolongación de la veta A, pero no puede ser reconocida. Por la similitud de los minerales, las vetas que se encontraron en profundidad entre los 122,2 y 123,6m y entre los 135,85 y 137,4m, del sondaje MJC-14, corresponderían a la veta A. Si fuera así, la veta A estaría ramificada con disminución de la potencia en las cercanías de los 400m al sur de la veta A conocida hasta el momento.

En yacimiento Cachinal de la Sierra las vetas se dividen en 2 grupos, de gran dimensión y de pequeña dimensión.

Las vetas del grupo de gran dimensión, como las vetas J, K y M, tienen una corrida superior a 500m, encajadas en rocas

piroclásticas dacíticas que se distribuyen en el sector este de la falla inferida de dirección N-S.

En cambio, las vetas del otro grupo, como las vetas C, F y H, tienen una corrida de 100 a 400m, y están encajadas principalmente en las unidades andesítica, diorítica y dacítica que se distribuyen en el sector oeste de la falla.

De acuerdo a los resultados de la exploración mediante sondajes de la tercera fase, es claro ahora que el sector donde se desarrollan las vetas A y B, está situado al lado oeste de la falla, es decir, lado yacente de la falla.

Como consecuencia, las vetas A y B pertenecen al grupo de pequeña dimensión, por lo tanto, no se puede esperar una gran prolongación de ellas. Una idea mencionada anteriormente es que la veta A estaría ramificada más al sur, lo que sería armonico con esto.

En el trabajo de la segunda fase, la prolongación sur de la veta J correspondía a la veta A, sin embargo, en base de los resultados de la exploración, se considera ahora que ambas vetas serían distintas.

En base de esta idea, la prolongación sur de la veta J debería pasar al lado este de la falla N-S, sin embargo, se reconocieron solamente unas 10 vetillas de cuarzo sin mineralización a través del estudio efectuado mediante trincheras en la supuesta prolongación de la veta J.

De acuerdo a lo mencionado ultimamente, es muy probable que la extremidad sur de la veta J estaría ubicada en un lugar no muy distinto de la extremidad actualmente conocida.

## Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones para el futuro

### 5.1. Conclusiones

#### 5.1.1. Area No. 22-23

Los resultados del estudio geofísico son los siguientes :

El valor de PEF está comprendido entre 0,5 y 2,7% con un promedio de 1,58%, y con  $M+2\sigma=2,42\%$ , de modo que los valores superiores a 2,0% fueron decididos como anomalía de PI. Las zonas de anomalía con valores superiores a 2,5%, se detectaron en la parte superior, a 100m (n=1) de profundidad de los perfiles de C, D y L, y en la parte cercana a 150m (n=2) de profundidad en los perfiles C y E.

Los sectores con mayor concentración en la distribución de las anomalías se ubican entre las estaciones 1 y 4 ,y entre las estaciones 7 y 8 , del perfil C.

Los valores de RA están comprendidos entre 10 y 159 ohm-m, y son generalmente bajos. Las zonas con valores relativamente altos de RA (superiores a 50 ohm-m) se ubican en los perfiles J y L del sector sur del área estudiada.

Se realizó una interpretación por simulación para el perfil C. Como resultado se presumieron 2 fuentes de anomalía con 3,5% de PEF en forma tabular, con un espesor aproximado de 30m en las estaciones entre 1 y 4, y entre 7 y 9 , a baja profundidad (30~70m).

Para reconocer estas fuentes de anomalía se realizaron 3 sondajes, y se obtuvieron los siguientes resultados :

Todos los sondajes cortaron gravas no consolidadas del Cuaternario a profundidades entre 80 y 100m, y por debajo de ellas hasta el fondo de los pozos se reconocieron conglomerados de color rojo, del Cretácico.

En estos conglomerados se presentan numerosas vetillas y/o stockworks de calcita sin mineralización.

Estas vetillas de calcita corresponderían a la extremidad del yacimiento Unión.

Las gravas no consolidadas que se presentan en la cercanía de las zonas de anomalía de PI, consisten en abundantes clastos de granitoides con granos de magnetita, y con alta porosidad, los cuales produjeron el fenómeno de PI.

Basados en los resultados obtenidos, se considera que hay una baja posibilidad de encontrar un nuevo yacimiento de dimensión similar a la del yacimiento Unión dentro del área estudiada.

#### 5.1.2. Area B

Se realizó la exploración mediante sondajes en la tercera fase principalmente con los tres objetivos siguientes:

- ① reconocer la prolongación al norte de la veta J.
- ② reconocer la existencia de nuevas vetas a lo largo de la falla inferida de dirección N-S.
- ③ reconocer la prolongación al sur de la veta A.

Los resultados de esta exploración son los siguientes :

① Se cortaron vetas de cuarzo con limonita que corresponderían a la prolongación norte de la veta J. De acuerdo a esto , la veta

J continuaría, por lo menos , aproximadamente unos 500m más al norte de la localización del sondaje B-1 de la segunda fase.

Sin embargo, los valores de las leyes de los elementos metálicos principales de las vetas son bajos como los siguientes:

MJC-11: profundidad 69,7~76,2m, largo de testigo 6,5m Au < 20 (ppb), Ag 6,6 (ppm), Cu 27 (ppm), Pb 195 (ppm), Zn 845 (ppm)

⊙ Debido a que no se encontró ninguna veta ni siquiera una vetilla con mineralización a lo largo de la falla, se supone que la falla inferida de dirección N-S se desarrollaría más al oeste, contra toda expectación, por lo cual hay muy poca posibilidad de encontrar vetas paralelas a las vetas principales conocidas.

⊙ La veta A estaría ramificada en su prolongación más al sur a 400m de la veta actualmente conocida.

Se presumía anteriormente que la falla pasaba aproximadamente 130m al oeste de la veta A en el sector sur del área. Sin embargo, según los resultados de la exploración mediante sondajes de este año, el sector donde se haya la veta A, correspondería al sector yacente de la falla N-S.

Como consecuencia, se supone que la falla pasaría más al este (aprox. 350m) de la veta A, y debería cambiarse la idea anterior, de que la veta A corresponde a la prolongación sur de la veta J , por lo que ambas vetas son diferentes.

## 5.2. Recomendaciones para el futuro

### 5.2.1. Area No. 22-23

Se considera que hay una baja posibilidad de encontrar yacimientos similares al yacimiento Unión entre los yacimientos Unión y Atahualpa.

Además, la cantidad de erosión (60~100m debajo de la superficie) es muy grande entre ellos, por lo tanto aun cuando existiera mineralización, sería difícil esperar reservas económicas de mineral. Como consecuencia, no se justifica la continuación de estudios adicionales en esta área.

### 5.2.2. Area B

En base de los resultados de estudios en esta área durante 3 años, se considera que se ha terminado la exploración para vetas principales. En el futuro, se considera que es necesario efectuar exploraciones detalladas para las vetas de pequeña

dimensión que se encuentran en el sector oeste de la falla  
inferida de dirección N-S.

PARTE II TRABAJOS REALIZADOS



## Capítulo 1 Area Nº 22-23 (Yacimientos de Unión y de Atahualpa)

### 1.1 Método de trabajo

En esta área se realizaron los métodos geofísicos de polarización inducida espectral (P.I.E.) y de polarización inducida (P.I.) y la exploración mediante sondajes.

### 1.2. Estudio geofísico

#### 1.2.1. Generalidades

##### (1) Objetivos del estudio

El trabajo está orientado a un área donde se ha encontrado una zona con mineralización del tipo vetiforme como consecuencia de la segunda fase de un estudio geológico.

El presente año se usarán los métodos geofísicos de polarización inducida espectral de polarización inducida para determinar la posible continuación del área mineralizada bajo la cubierta sedimentaria reciente.

##### (2) Area de trabajo

El área del trabajo geofísico se ubica a aproximadamente 30 Km. al sureste de la ciudad de Taltal. La Fig. I-1 ilustra la configuración de los perfiles de medición.

##### (3) Especificaciones del estudio

Las especificaciones usadas para el trabajo de terreno son las siguientes:

- a. Longitud de perfiles : 12,0 Km en doce perfiles  
    P.I.E. 6,0 Km en seis perfiles 180 estaciones  
    P.I. 6,0 Km en seis perfiles 180 estaciones  
    La Tabla I-1 indica la longitud y las estaciones de medición para cada perfil.
- b. Espaciamiento entre perfiles : 300m
- c. Configuración electródica : arreglo dipolo - dipolo
- d. Separación entre electrodos : a = 100m.
- e. Coeficientes de separación electródica : n = 1 ~ 5
- f. Método de medición : frecuencia variable.
- g. Frecuencias consideradas :  
    P.I.E. 0,125 ~ 88 Hz ( 18 frecuencias).  
    P.I. 0,3/3,0 Hz.





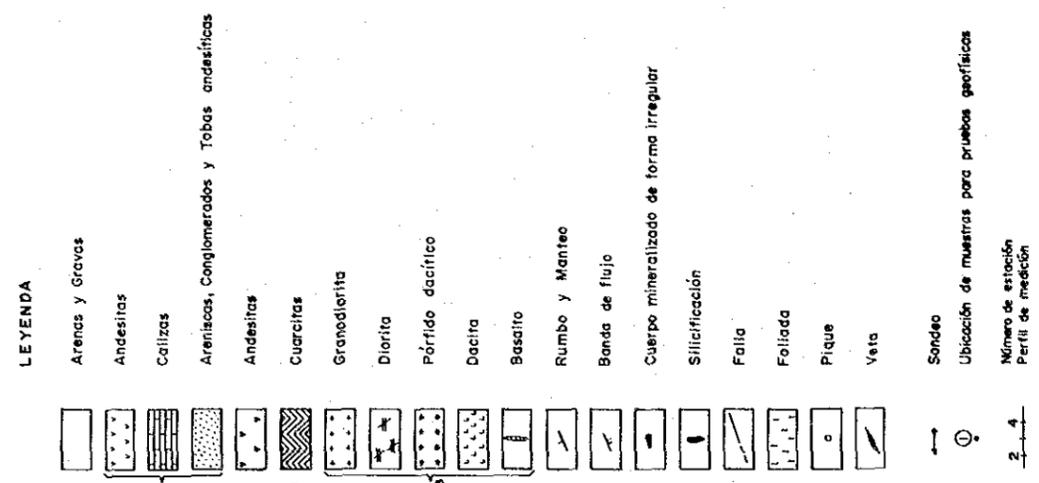
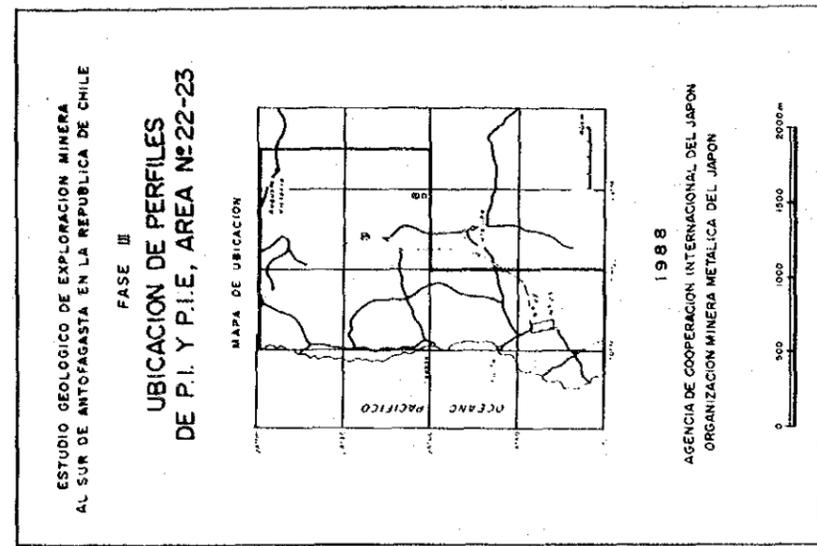
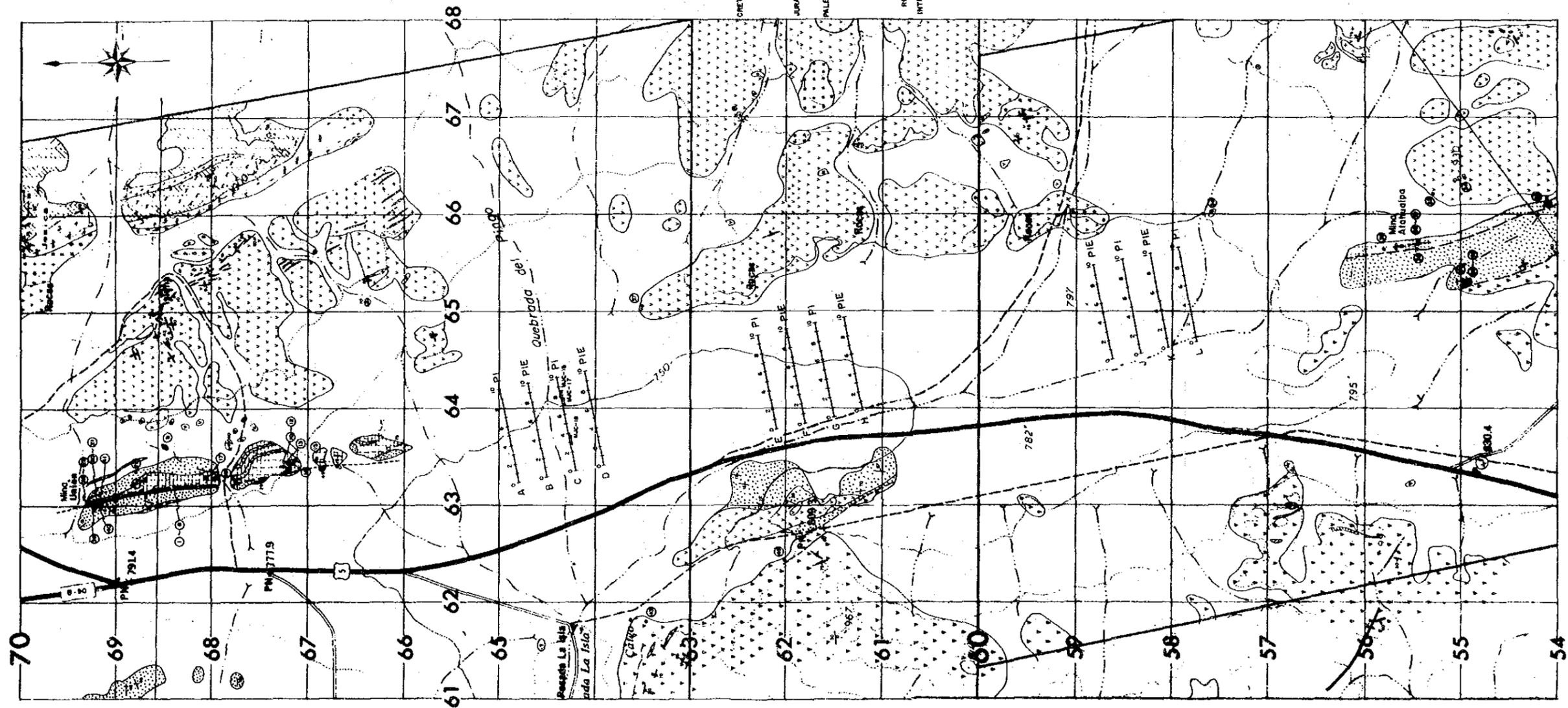


Fig. 1-1 Mapa de ubicación de perfiles de medición



Tabla I -1 Lista de longitudes y número de estaciones de medida de cada perfil

Perfil	P. I.		P.I.E.	
	Longitud	Estación	Longitud	Estación
Sector I				
Perfil A	1000 m	30 ptos.		
Perfil B			1000 m	30 ptos.
Perfil C	1000 m	30 ptos.		
Perfil D			1000 m	30 ptos.
Sector II				
Perfil E	1000 m	30 ptos.		
Perfil F			1000 m	30 ptos.
Perfil G	1000 m	30 ptos.		
Perfil H			1000 m	30 ptos.
Sector III				
Perfil I			1000m	30 ptos.
Perfil J	1000m	30 ptos.		
Perfil K			1000m	30 ptos.
Perfil L	1000m	30 ptos.		
Total	6000m	180 ptos.	6000m	180 ptos.

(4) Método de estudio geofísico

El método de P.I.E. opera bajo el mismo principio del método de P.I. convencional. En el método P.I.E. se mide la resistibilidad aparente (RA) y la diferencia de fase para un rango de frecuencias entre 0,01 Hz y 100 Hz a diferencia del método de P.I. convencional que mide una diferencia de RA expresada en porcentaje para dos frecuencias determinadas. Los datos medidos se representan en diagramas espectrales de fase y magnitud, y diagramas del tipo cole-cole. El análisis de estos diagramas permite la discriminación de minerales o tipos de mineralización y elimina los efectos de acoplamiento

electromagnético que ocurren normalmente en terrenos de baja resistividad, para grandes separaciones de electrodos y para varios niveles de medición.

En este trabajo se usó el sistema armónico ZONGE (U.S.A.). Se midieron las respuestas de P.I. para un rango de frecuencias entre 0,125 Hz y 88 Hz mediante el cálculo y obtención de frecuencias mayores por medio de la transformada de Fourier de las armónicas 3,5,7,9 y 11 de las frecuencias fundamentales de 0,125 Hz, 1,0 Hz y 8,0 Hz.

Para medir la fase es necesario observar la forma de onda y tender un cable de comunicación que conecta el transmisor con el receptor separado 25 a 30 metros de la línea de corriente. La Fig. I-2 muestra la disposición de los tendidos de cables. En la estación receptora la respuesta es amplificada mediante el uso de tres electrodos porosos de cobre en solución de sulfato de cobre. Las señales preamplificadas se transmiten a través del cable de comunicación al receptor (GDP-12/2GB) donde los datos son procesados, grabados e imprimidos.

El método de P.I. usado en esta oportunidad es el convencional de frecuencia variable con dos frecuencias de 0,3 Hz y 3,0 Hz.

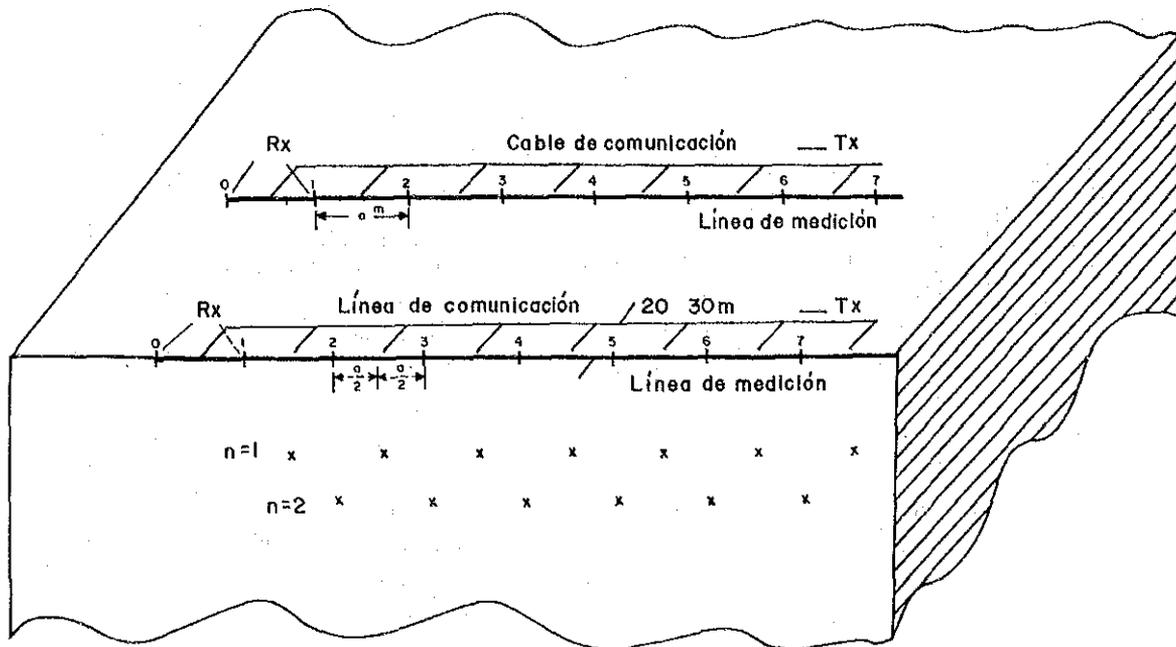
#### (5) Instrumental de medición

El equipo usado en este trabajo se incluye en la Tabla I-2 y se esquematiza en el diagrama de la Fig. I-3.

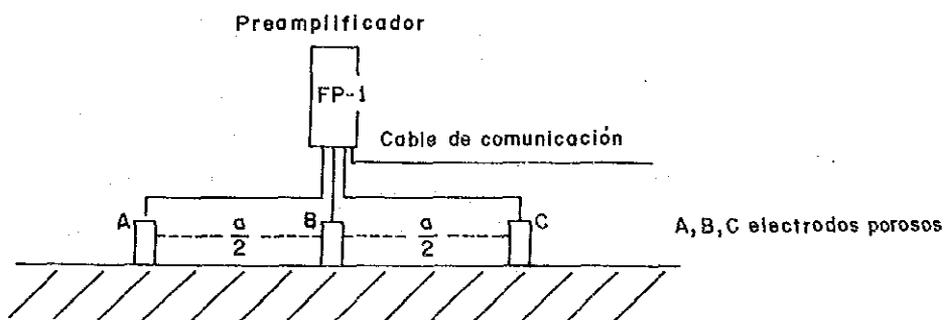
#### 1.2.2. Procesamiento de datos obtenidos y medición en muestras de roca

##### (1) Porcentaje de efecto de frecuencia.

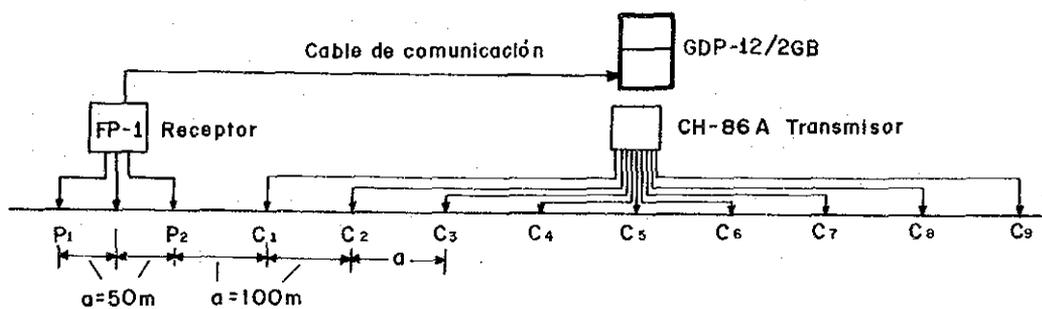
Se calcula un valor de porcentaje de efecto de frecuencia (PEF) usando las magnitudes (M) de los datos de P.I.E. a 0,125 Hz y 1Hz, y la RA a 0,3Hz y 3,0Hz de datos de P.I., de acuerdo a las siguientes relaciones:



(a) Línea de medición P.I.E.



(b) Estación receptora



(c) Despliegue de electrodos

Fig. 1-2 Medidas de P.I.E. en terreno

Tabla 1-2 Lista de equipos de P.I.E. y P.I.

Item	Nombre	Especificación	Cant.
Sistema de Transmisión	Chiba Electric CH-86A SIP Transmisor	Voltaje de salida : 200, 400, 600, 800, 1000V Corriente de salida : 0.2~5.0 A Forma de onda : Square wave Frecuencia : 0.125 Hz~8 Hz Peso : 37 Kg.	1
	Zonge XMT-1 Transmisor Controlados	Rango de frecuencia : 1/1,024 Hz~2,048 Hz Peso : 5,8 Kg. Potencia : 12V Battery	1
	Chiba Electric Modelo 8104T IP Transmisor	Voltaje salida : 200, 350, 500, 650, 800V Corriente salida : 0.2~2,5A Forma de onda : Square ware Frecuencia : 0.1 Hz~3 Hz Peso : 14 Kg.	1
Motor Generador	Zonge ZMG-5 Motor P. I. E. Transmisor Honda G400	Potencia : 5 KW Frecuencia : 400 Hz Voltaje salida : 115V Motor : 10 hp 4 Cycle	1
	McCulloch MH-11 Motor P. I. Generador	Salida : 2KW Frecuencia : 400 Hz Voltaje salida : 115V Motor : 5HP 4Cycle	1
Sistema de Recepción P. I. E.	Zonge GDP-12/2GB	Señal de entrada : 2 canales Rango de frecuencia : 1/8~88 Hz (18 Frec.) Sensibilidad : 0.2 $\mu$ V Peso : 15 Kg. Potencia : bateria 12V	2
	Zonge CAP-12 Grabadora de Mini Cassette	Peso : 6,2 Kg Potencia : bateria 12V	2
	Tektronx 214 Osciloscopio		1
	Zonge ISO/ Amplificador		3
	Zonge FP-1 Preapl. de terreno		5
Receptor P. I.	Yokohama Electric YDC- 7505B IP Receptor	Rango de frecuencia : 0.1 Hz~3 Hz Sensibilidad : 10 $\mu$ V (1, 10, 100, 1000 $\mu$ V) Peso : 3 Kg. Potencia : 4 bateria de 006P	1
Electrodos	Corriente	Fierro de $\phi$ 0,1cm longitud 70cm	200
	Potencia	No polalizable	5

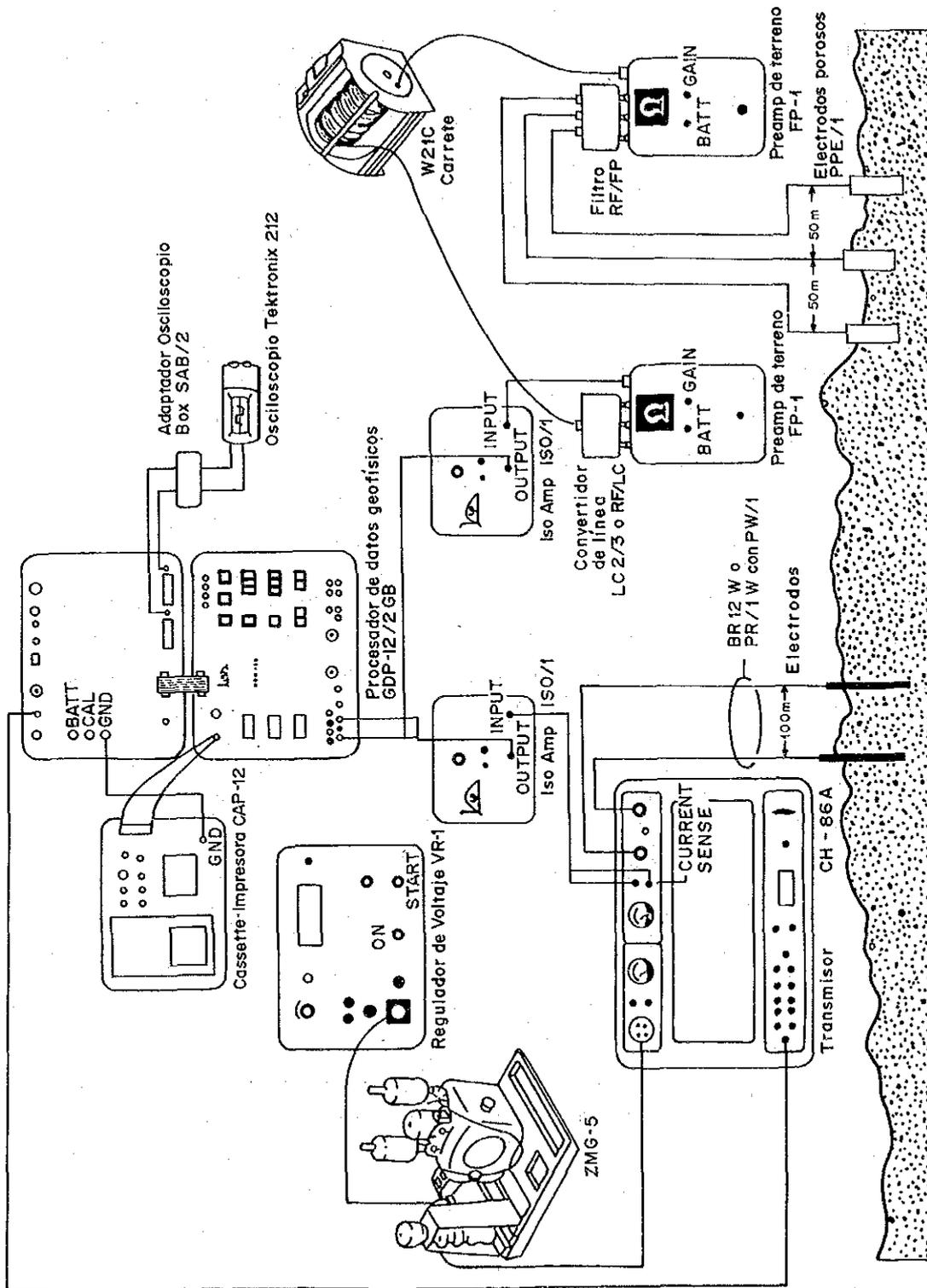


Fig. 1-3 Diagrama de bloque para mediciones de P.I.E.

$$P E F (P.I.) = \frac{RA(0,3 \text{ Hz}) - RA(3,0 \text{ Hz})}{RA(3,0 \text{ Hz})} \times 100 \quad (\%)$$

o,

$$P E F (P.I.E.) = \frac{M(0,125 \text{ Hz}) - M(1,0 \text{ Hz})}{M(1,0 \text{ Hz})} \times 100 \quad (\%)$$

## (2) Resistividad aparente ( R A )

La RA se calcula de la siguiente ecuación:

$$R A = \pi a \cdot n(n+1)(n+2) \cdot V/I \text{ (ohm-m)}$$

En que : a : Separación de electrodos ( M )

n : Coeficiente de separación de electrodos

v : Voltaje medido ( Volts.)

I : Corriente transmitida ( Amp.)

## (3) Análisis espectral

Los datos de P.I.E. obtenidos en terreno consisten en una resistividad compleja que tiene una parte real y otra imaginaria para cada frecuencia, además de la RA, fase y magnitud de la frecuencias fundamentales. Con estos datos se obtienen las siguientes figuras :

- A) Diagrama Cole-Cole
- B) Espectro de Magnitud
- C) Espectro de Fase

### A) Diagrama de Cole-Cole

En este diagrama se dibujan los datos obtenidos para cada frecuencia colocando la parte imaginaria negativa en el eje vertical y la parte real positiva en el eje horizontal. En la Fig. I-4 se muestra un ejemplo en el que  $i$  y  $M_i$  son la fase y la magnitud respectivamente. El diagrama Cole-Cole debe mostrar un espectro característico para cada tipo de mineral o roca.

De acuerdo a Zonge et al, hay tres tipos de espectro ( Fig. I-5 ). El tipo A, ascendente hacia la derecha indica la existencia de minerales sulfurados, grafito o alteración fuerte. La línea plana del tipo B indica alteración moderada

y el tipo C, descendente a la derecha indica alteración débil, aluvio, roca ignea fresca o lutita. Esta discriminación fue considerada para este estudio en particular.

#### B) Espectro de Magnitud

Los valores de magnitud  $M_i$  y  $M_j$  ( Fig. I-4 ) se obtienen de la parte positiva real y de la parte negativa imaginaria de los datos de terreno. Los valores son normalizados dividiendo por la magnitud  $M_0$  de la frecuencia mínima ( 0,125Hz ). La figura del espectro de magnitud se dibuja colocando el valor de la magnitud en el eje vertical y la frecuencia en el eje horizontal (Fig. I-6 ). En la figura, una línea horizontal indica roca sana sin mineralización o alteración mientras que la línea descendente para frecuencias altas indica alteración fuerte, minerales sulfurados y/o grafito.

#### C) Espectro de Fase

En el espectro de fase el eje vertical es el ángulo de fase de la Fig. I-4, y el eje horizontal es la frecuencia (Fig. I-7). Los datos obtenidos en el trabajo de terreno son una combinación de respuestas originales de P.I. ( línea sólida A en Fig. I-8) y respuestas pseudo-P.I. (línea punteada B en Fig. I -7 ) proveniente de acoplamiento electromagnético. La línea C (-X---X-) en Fig. I-8 muestra las respuestas combinadas de P.I.

#### (4) Proceso de deacoplamiento.

El deacoplamiento significa la remoción de una componente de P.I. falsa que se origina del acoplamiento electromagnético. El procedimiento de deacoplamiento en las medidas de P.I.E. se basa en el método ideado por P.G. Hallof y W. H. Pelton que se resume a continuación. La impedancia compleja  $ZA(f)$  que se obtiene de las mediciones de P.I.E. se aproxima a la siguiente ecuación.

$$ZA(f) = Ro \left[ 1 - m_1 \left( 1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_1) c_1} \right) - m_2 \left( 1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_2) c_2} \right) + m_3 \left( 1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_3) c_3} \right) \right]$$

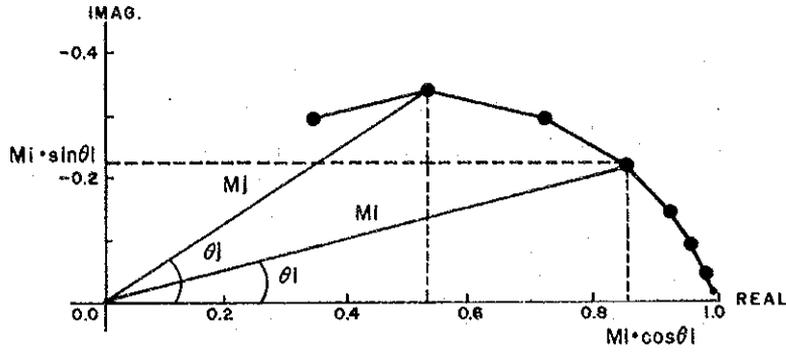


Fig. 1-4 Diagrama Cole-Cole

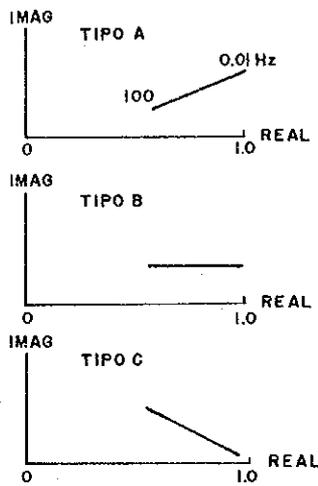


Fig. 1-5 Tipos de espectros

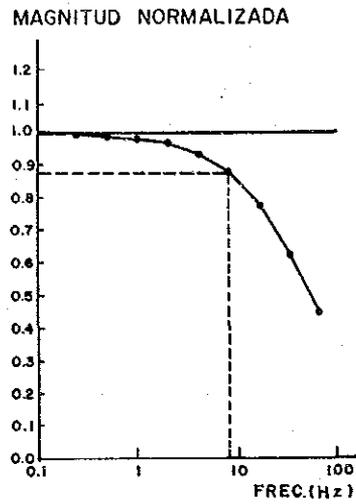


Fig. 1-6 Espectro de magnitud

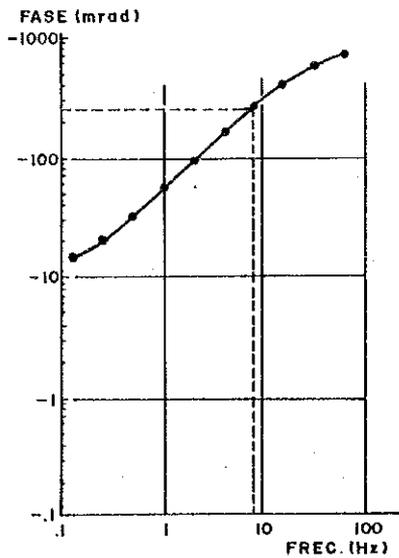


Fig. 1-7 Espectro de fase

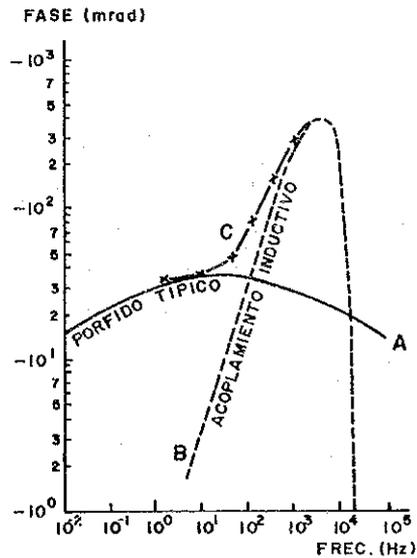


Fig. 1-8 Acoplamiento inductivo

En que;  $m$  : Cargabilidad  
 $\tau$  : Constante de Tiempo  
 $c$  : Dependencia de Frecuencia  
 $f$  : Frecuencia

la ecuación se puede separar en tres partes:

$$1 - m_1 \left( 1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_1) c_1} \right) \quad (1)$$

$$- m_2 \left( 1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_2) c_2} \right) \quad (2)$$

$$+ m_3 \left( 1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_3) c_3} \right) \quad (3)$$

El número (1) se refiere a una respuesta de P.I., el (2) indica un acoplamiento electromagnético derivado de una tierra homogénea y el (3) representa el valor de acoplamiento electromagnético en un conductor. Los 10 parámetros de la ecuación anterior ( $R_0, m_1, \tau_1, c_1, m_2, \tau_2, c_2, m_3, \tau_3, c_3$ ) se determinan de las mediciones de P.I.E. usando el método de mínimos cuadrados de tipo no lineal. Las partes (2) y (3), que representan los valores de acoplamiento electromagnético, se remueven de la ecuación para dejar solo la impedancia compleja  $Z_{co}(f)$  de la respuesta de P.I.

$$Z_{co}(f) = \left[ 1 - m_1 \left( 1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_1) c_1} \right) \right]$$

#### (5) Medición de Muestras de Rocas

El procedimiento de medición usado es el siguiente;

- ① Preparación de las muestras : cubos de 3 cm de arista.
- ② Saturación con agua : muestras se sumergen en agua destilada por 24 horas.
- ③ Medición : la Fig. I-9 ilustra los instrumentos. Con excepción del transmisor todos los instrumentos y procedimientos son los mismos de terrenos. El valor estándar de la corriente es de 5 ~ 30  $\mu A$ .

Se hicieron mediciones de P.I.E. en 41 muestras con el fin de conocer sus espectros de fase y magnitud, la propiedad Cole-Cole, el PEF y la resistividad. La Fig. I-1 indica la ubicación de las muestras.

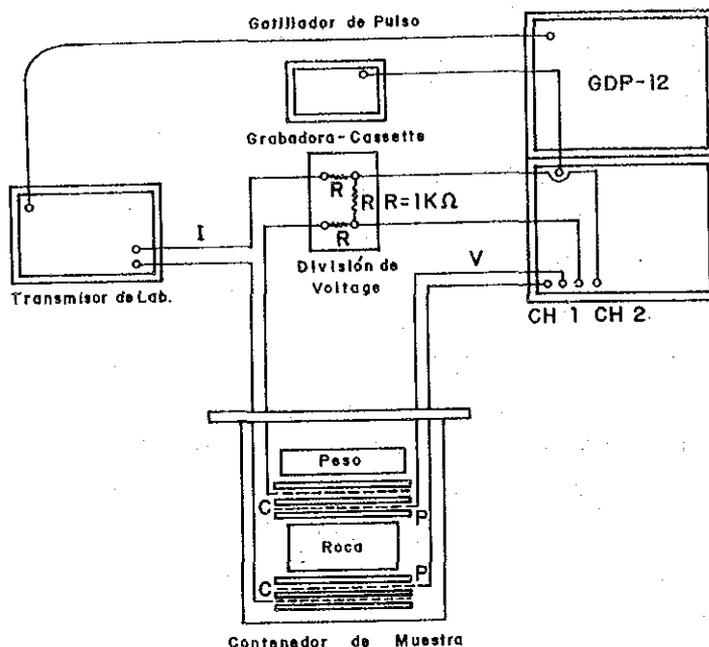


Fig. I-9 Equipo de laboratorio para medición de muestras de roca

### 1.2.3. Resultados de la Interpretación

Los planos de planta y las seudosecciones de resistividad aparente (RA) y porcentaje de efecto de frecuencia (PEF) han sido compilados a partir de los datos obtenidos en los perfiles de P.I.E. y P.I. Para cada sector (I a III) existen planos de RA y PEF correspondientes a las separaciones  $n=1, 2$ , y 3 mientras que las seudosecciones de RA y PEF se han preparado para cada línea en cada sector.

En relación a las respuestas de P.I.E., para cada línea se han preparado seudosecciones de fase (lag.), espectro de fase, espectro de magnitud y diagramas Cole-Cole para cinco frecuencias entre 0,125 y 3,0 Hz. Basadas en las figuras anteriores se han hecho las discusiones correspondientes a los resultados del estudio.

(1) Porcentaje de efecto de frecuencia y resistividad aparente

Los valores de PEF medidos en el area varían entre 0,5 y 2,7% con un promedio (M) de 1,58%. La desviación estandar ( $\sigma$ ) es de 0,42 lo que da un valor de  $M + \sigma$  de 2,0%. Consecuentemente se ha usado el valor de 2,0% como criterio para distinguir el PEF alto.

Los valores de RA varían entre 10 y 159 ohm-m, el promedio del logaritmo (M) es 1,47 por lo que el promedio de RA es 29,5 ohm-m. El logaritmo de la desviación estandar es de 0,2 , lo que da los valores para  $M + \sigma$  y  $M - \sigma$  de 46,8 y 18,6 ohm-m respectivamente.

Consecuentemente se ha considerado los valores de 50 ohm-m y 20 ohm-m para distinguir entre alta y baja resistividad.

La Fig. I-10 muestra los histogramas de PEF y RA para cada perfil.

1) Seudosección

i) Sector I (Fig. I -11, PL.1)

a. P E F

Las zonas de PEF de mas de 2% detectadas son:

Perfil	Estaciones	Indice de Separación	N° de ptos	Máx. PEF
A	1 ~ 4	n = 1 ~ 2	4	2,3%
	5 ~ 6	n = 3	1	2,0%
	7 ~ 8	n = 1	1	2,0%
B	2	n = 2	1	2,1%
	3 ~ 4	n = 5	1	2,0%
	5 ~ 6	n = 5	1	2,0%
	6 ~ 7	n = 1	1	2,0%
C	1 ~ 5	n = 1 ~ 3	9	2,7%
	6 ~ 9	n = 1 ~ 4	6	2,6%
D	4 ~ 8	n = 1	4	2,5%

Las zonas con valores de PEF mayores que 1,5% se obtuvieron en: n = 1~4 del perfil A, n = 1~3 y n = 5 del perfil B, n = 1~4 del perfil C, y n = 1~3 y n = 5 del perfil D. Los valores altos de PEF, mayores que 2,0%, se distribuyen preferentemente en el perfil C donde está el valor más alto (2,7%) encontrado en el area de estudio.

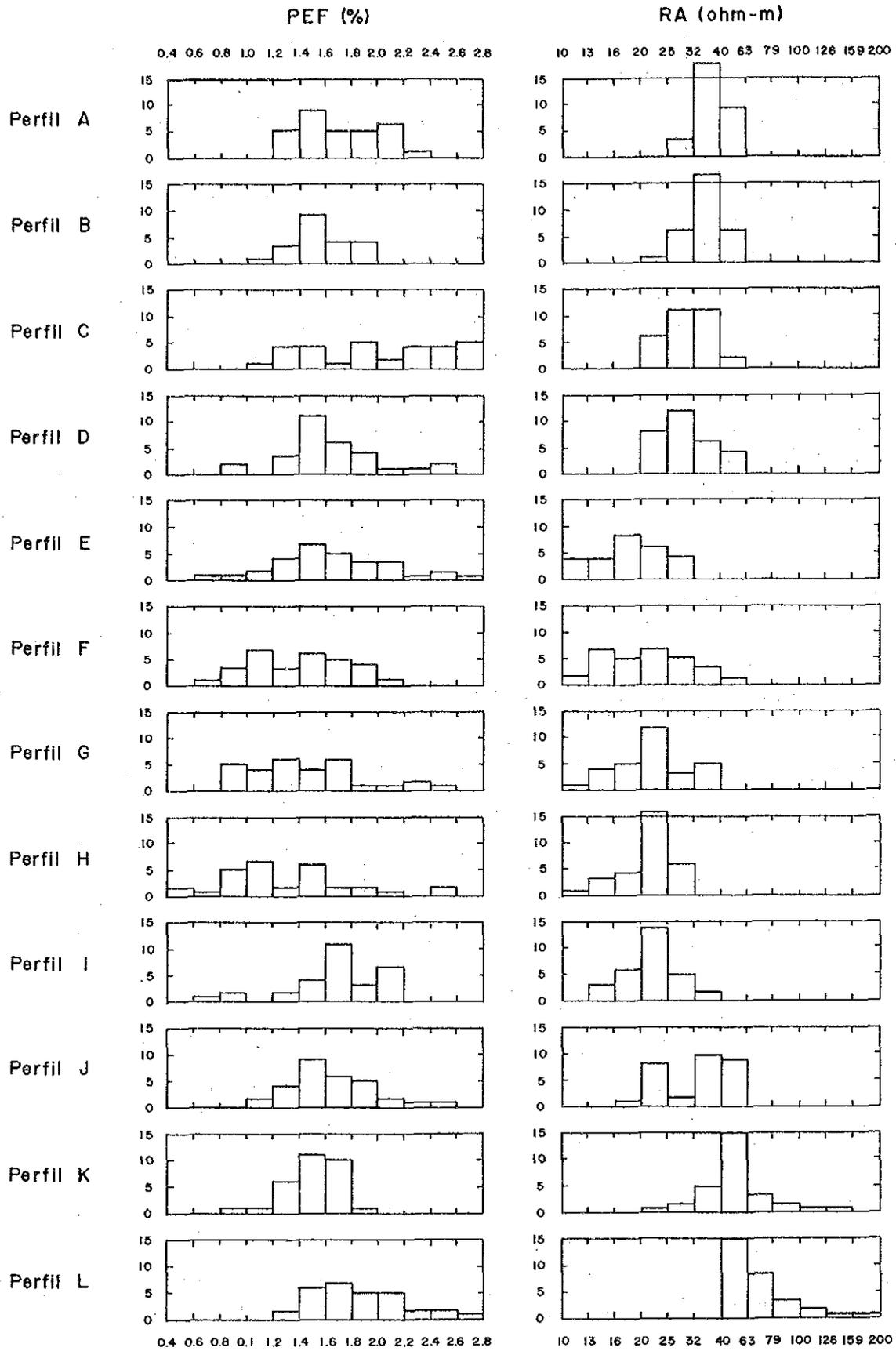


Fig. 1-10 Histogramas de PEF y RA



### EFFECTO DE FRECUENCIA (%)

### RESISTIVIDAD APARENTE ( $\Omega$ -m)

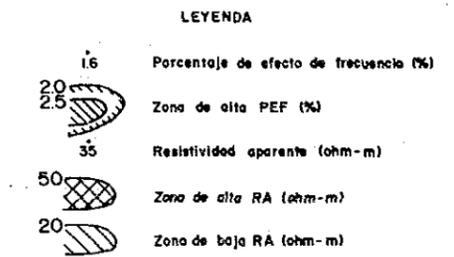
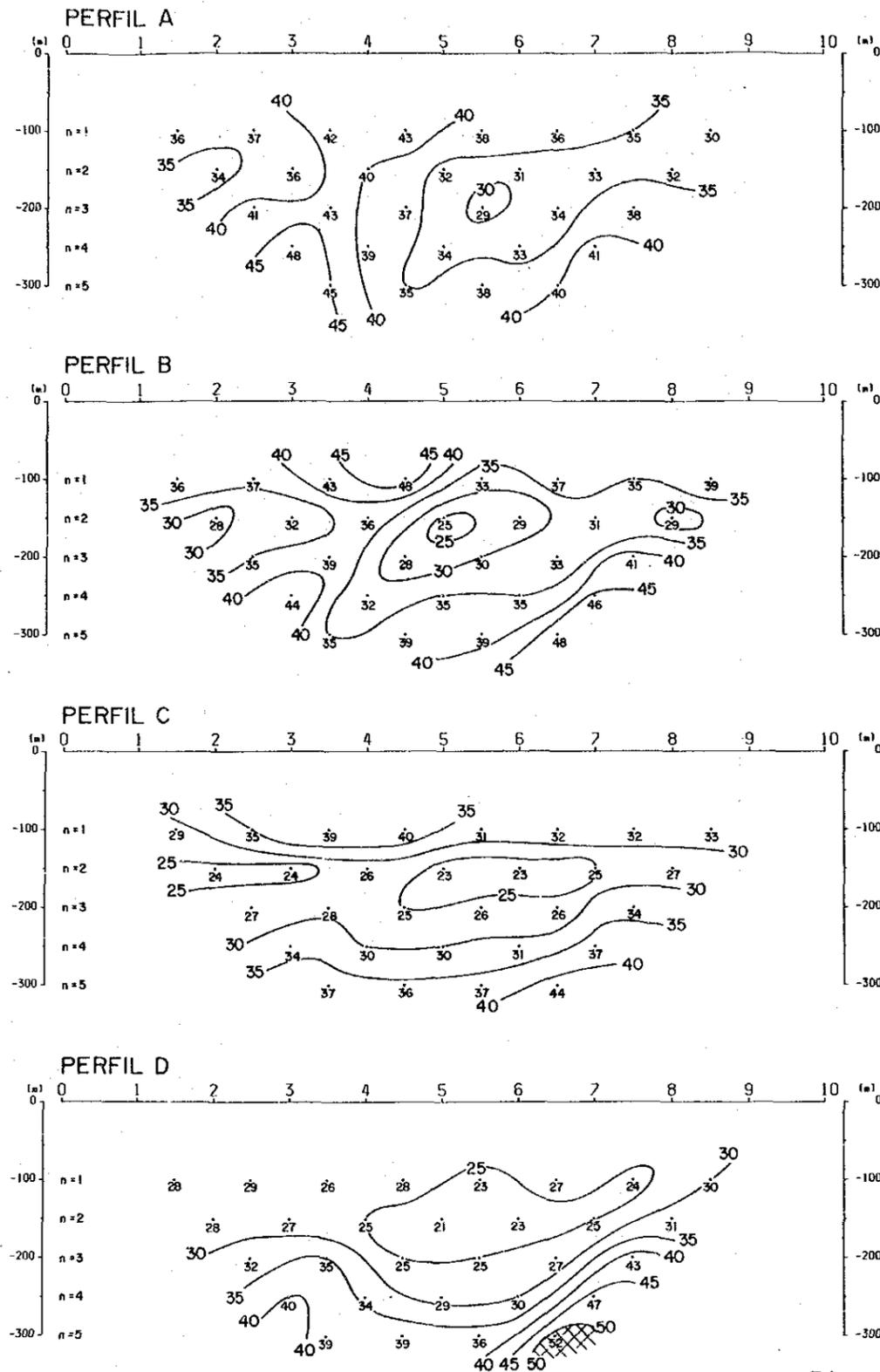
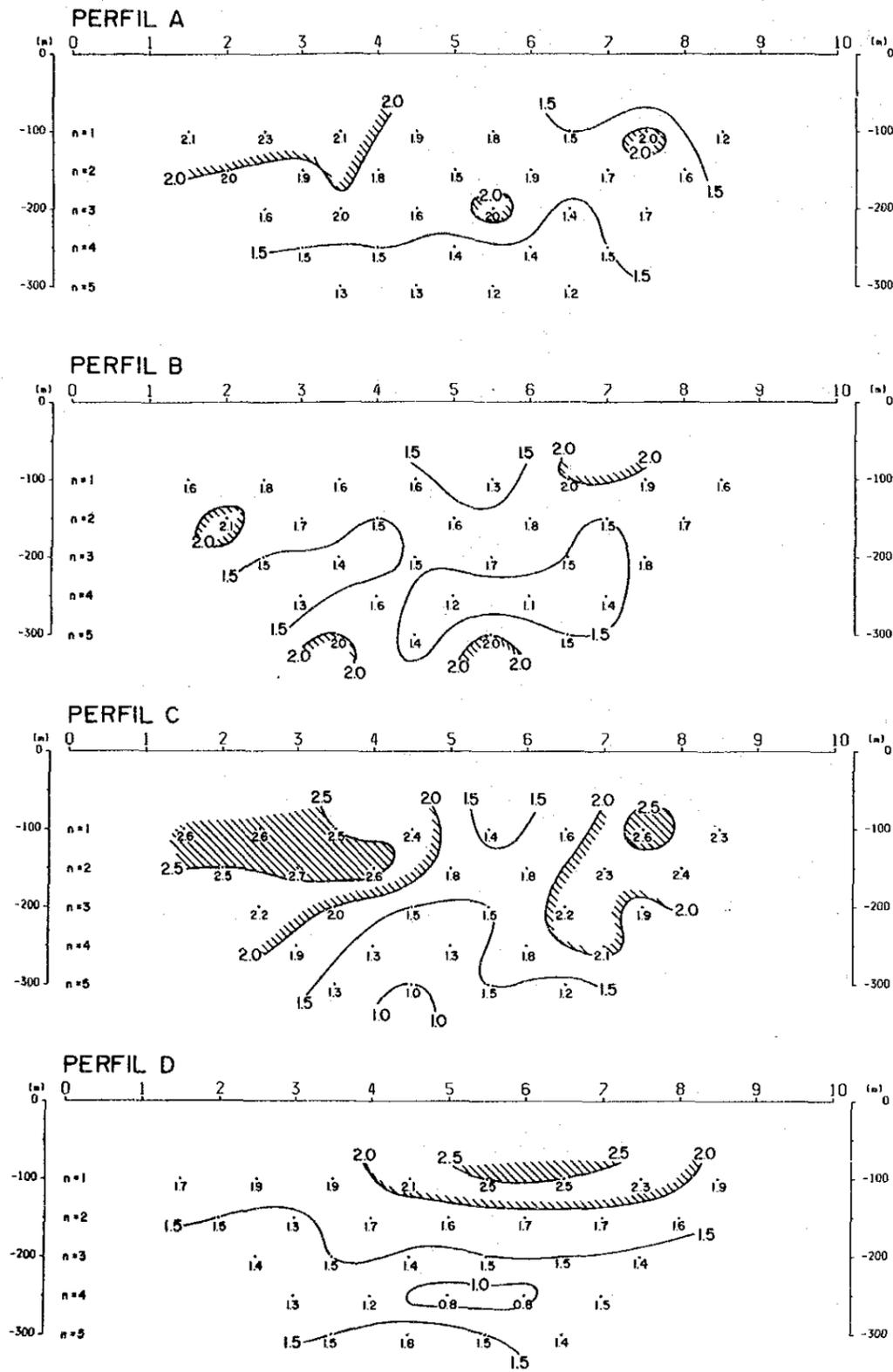


Fig. 1-11 Seudosecciones de PEF y RA (Sector I)



b. R A

Los valores bajos de RA se ubican en la partes centrales de los perfiles A a D; el valor más bajo para cada a perfil varía entre 29 ohm-m y 21 ohm-m. Valores relativamente altos de RA (mayores que 40 ohm-m) se obtienen entre las estaciones 2 y 5 de los perfiles A y B y en la parte profunda del extremo oriental de los perfiles A a D.

ii) Sector II ( Fig. I -12, PL.2)

a. P E F

Las siguientes zonas de alto PEF, mayores que 2,0%, fueron detectadas.





### EFFECTO DE FRECUENCIA (%)

### RESISTIVIDAD APARENTE ( $\Omega$ -m)

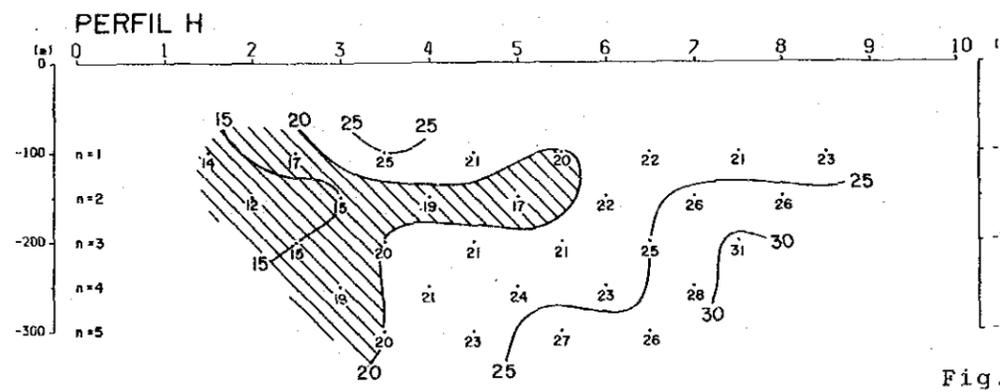
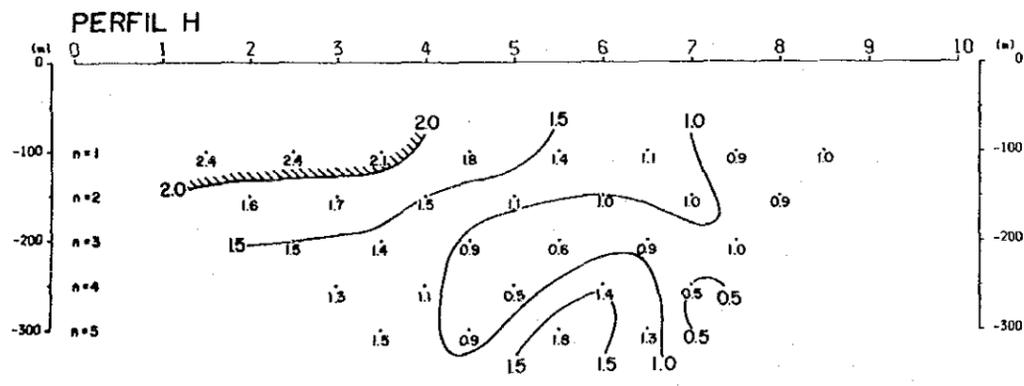
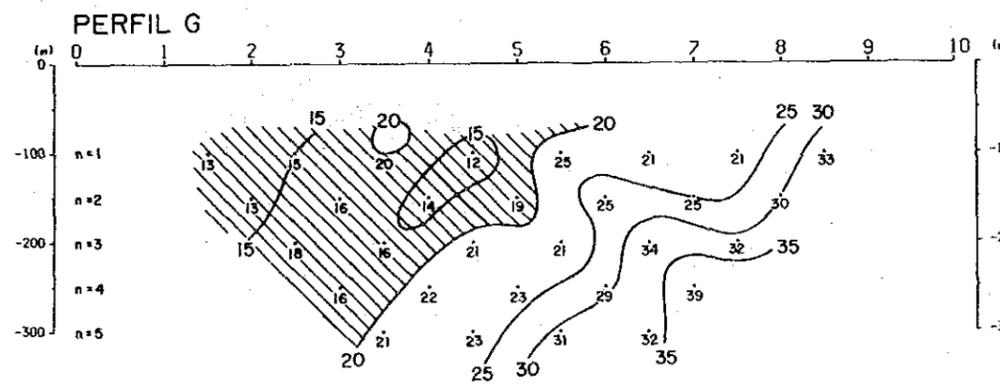
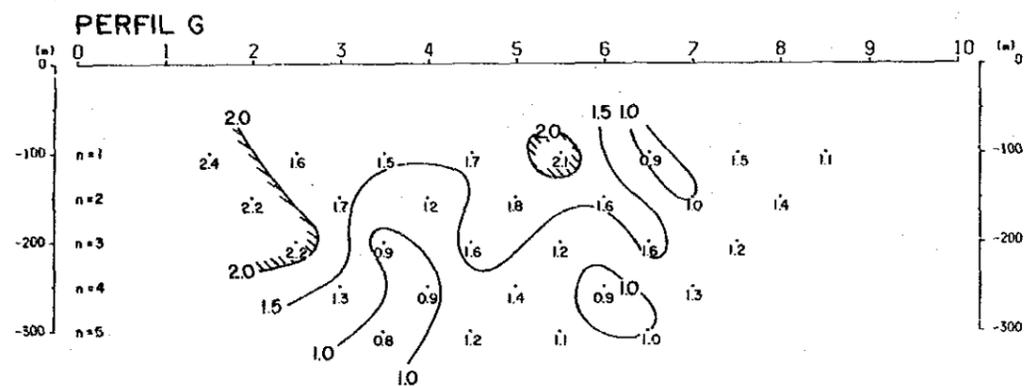
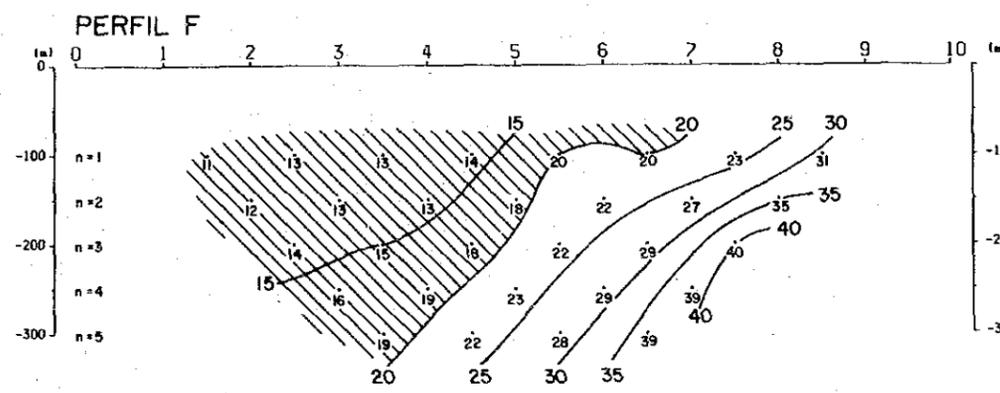
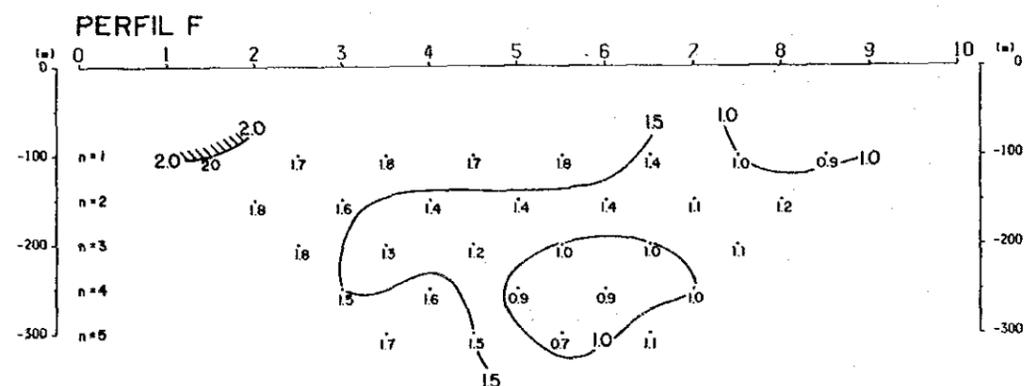
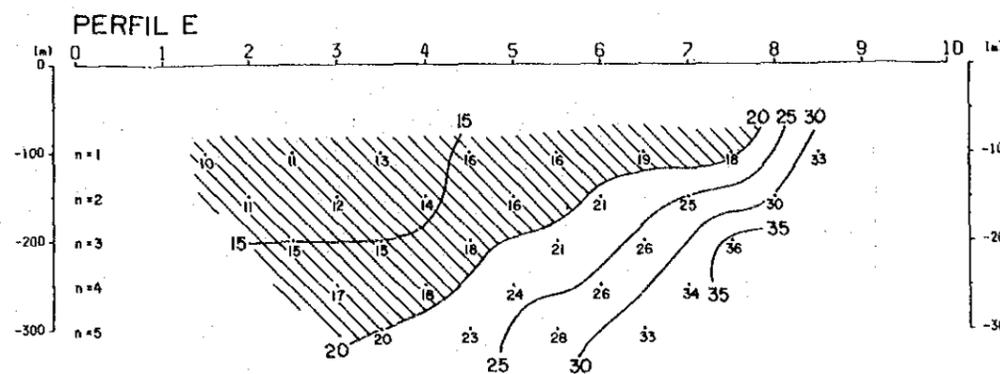
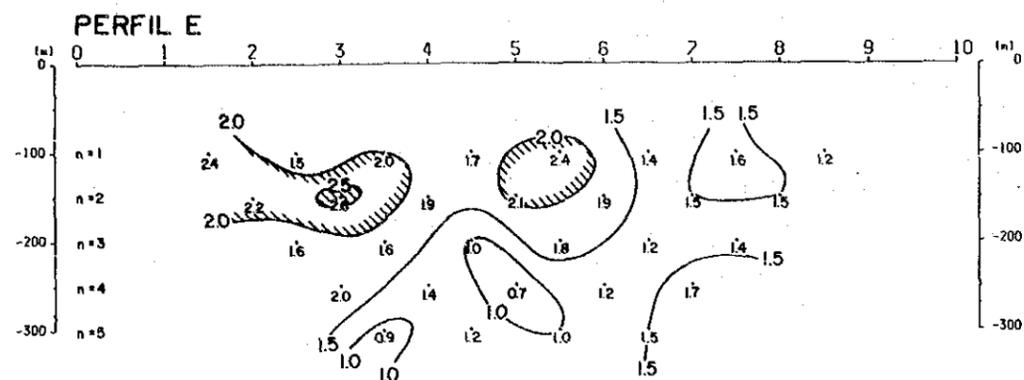


Fig. 1-12 Seudosecciones de PEF y RA (Sector I)



Perfil	Estaciones	Indice de Separación	N° de Ptos.	Máx. PEF
E	1 ~ 4	n = 1 ~ 2	4	2,6%
	5 ~ 6	n = 1	2	2,4%
F	1 ~ 2	n = 1	1	2,0%
G	1 ~ 3	n = 1 ~ 3	3	2,4%
	5 ~ 6	n = 1	1	2,1%
H	1 ~ 4	n = 1	3	2,4%

Las zonas con valores de PEF mayores que 1,5% se destacaron al oeste de la estación 6 en los perfiles E ~ H. Las zonas de valores bajos de PEF, menores que 1,5%, se ubican en la parte oriental y en la parte central profunda de los perfiles E al H.

b. R A

En los perfiles E al H predominan valores bajos de RA con un valor máximo de 40 ohm-m. Para cada perfil se observa una distribución de RA similar, en que la RA aumenta gradualmente hacia el este y en profundidad lo que estaría representando la existencia de roca de alta resistividad en la parte oriental de las líneas E a la H y a poca profundidad.

ii) Sector III ( Fig.I -13, PL.3)

a. P E F

Las zonas de alto PEF mayores que 2,0%, se detectaron en:

Perfil	Estaciones	Indice de Separación	N° de Ptos.	Máx. PEF
I	3 ~ 5	n = 1 ~ 2	3	2,0%
	6 ~ 7	n = 2 ~ 4	3	2,1%
	8 ~ 9	n = 1	1	2,0%
J	3 ~ 5	n = 2 ~ 4	4	2,4%
K	---	---	0	---
L	2 ~ 6	n = 1 ~ 3	7	2,6%
	5 ~ 6	n = 3 ~ 4	3	2,5%

En los perfiles A y L predominan los valores mayores que 1,5% de PEF. Las zonas de valores bajos de PEF menores que 1,5%, se distribuyen en la parte profunda de los perfiles I, J y L la parte superficial del perfil J y el sector central y oriental del perfil K.

b. R A









Los valores anómalos de RA corresponden a los perfiles K y L con un máximo de 132 ohm-m y 159 ohm-m respectivamente. Las líneas de contorno en los perfiles J, K y L parecen representar la existencia de roca de alto contraste de resistividad.

i) Sector I

a. P E F (Fig. I -14~ Fig. I -16, PL.4~ PL.6)

En el plano equivalente a  $n = 1$  se observa que la zonas de alto PEF, mayores que 2,0%, se distinguen preferentemente en los perfiles B y C. En el perfil C las zonas de alto PEF aumentan su valor desde  $n = 1$  al 3.

b. R A (Fig. I -14~ Fig. I -16, PL. 4~ PL.6)

En el plano correspondiente a  $n = 1$  se destacan zonas de alta RA, mayores que 40 ohm-m, en la parte noroeste. En el plano equivalente a  $n = 3$  se distribuye una zona destacada de baja RA en la parte central de cada perfil y que se extiende en la dirección N-S.

ii) Sector II

a. P E F (Fig. I -20 ~ Fig. I -22, PL.10~ PL.12)

En el plano correspondiente a  $n = 1$ , se destacan zonas de alto PEF, mayor a 2,0% en los extremos occidentales de los perfiles E al H y en la parte central de los perfiles E y G. Las zonas de PEF mayores que 1,5% se distribuyen en la mitad occidental de los perfiles E al H para  $n = 1$  a 3. En el plano equivalente a  $n = 3$  no se observan zonas de alto PEF, mayores que 2,0% , con la excepción de la parte oeste del perfil G.

b. R A ( Fig. I -23 ~ Fig. I -25, PL.13 ~ PL.15)

En los planos correspondientes para  $n = 1$  a  $n = 3$  los valores de RA disminuyen gradualmente de este a oeste en los perfiles E a H, con lo cual se tiene valores de 35 ohm-m en el extremo este y de 15 ohm-m en el extremo oeste.

3) Sector III

a. P E F ( Fig. I -26 ~ Fig. I -28, PL.16 ~ PL.18)

En el plano equivalente a  $n = 1$  se destacan zonas de alto PEF de más de 2,0% en los perfiles I y L. Las zonas con valores de PEF menores que 1,5% se distribuyen principalmente en la parte





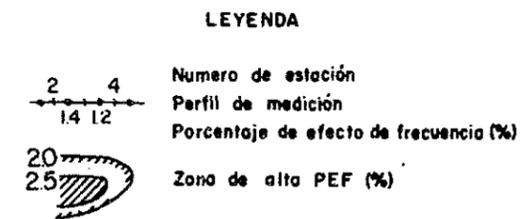
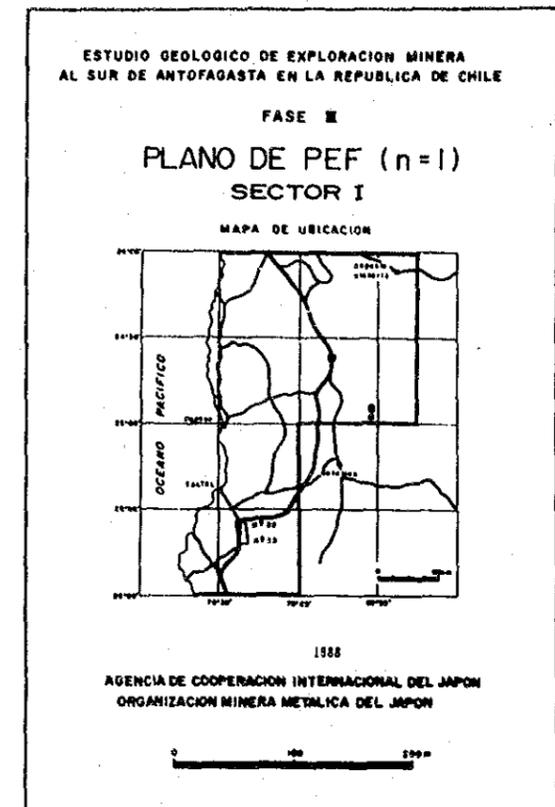
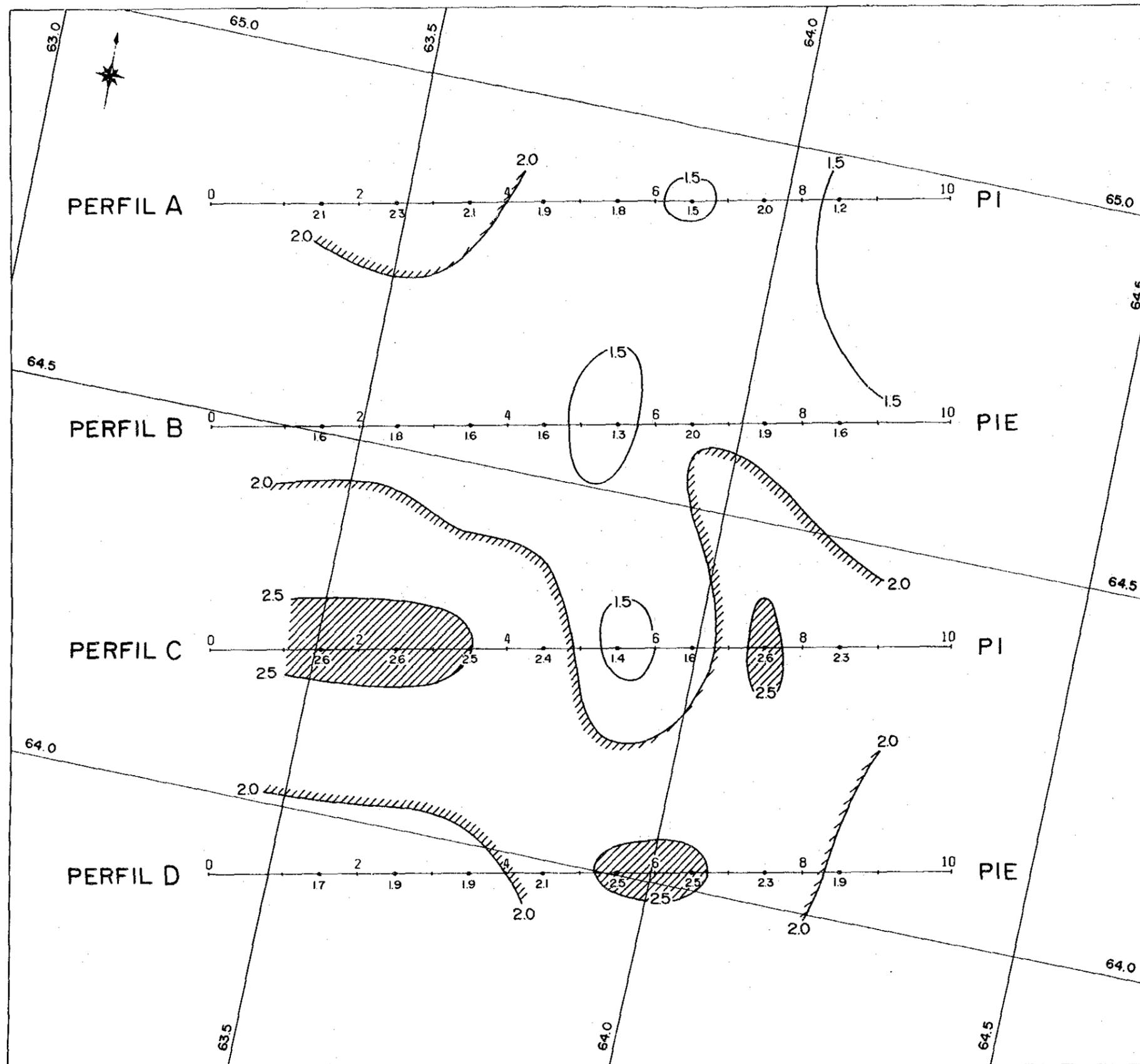


Fig. 1-14 Plano de PEF (Sector I, n=1)

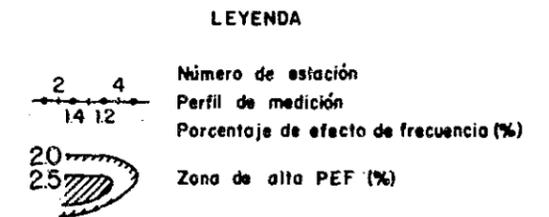
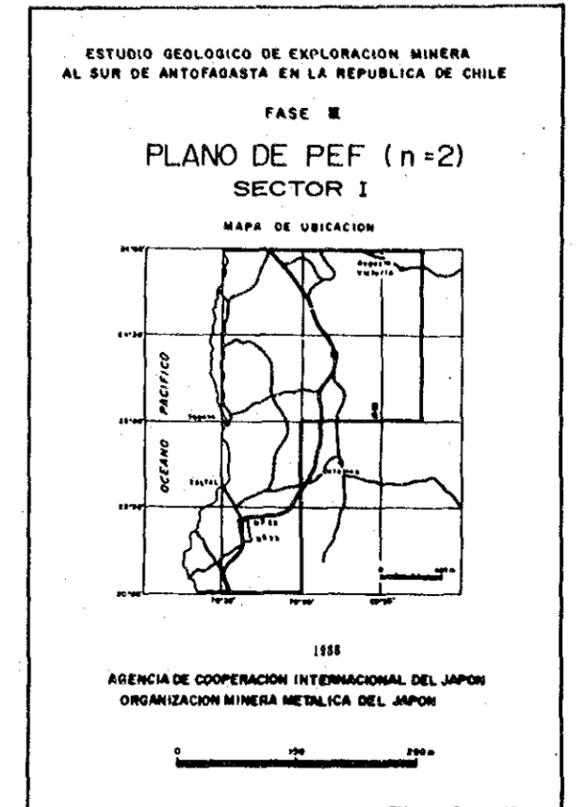
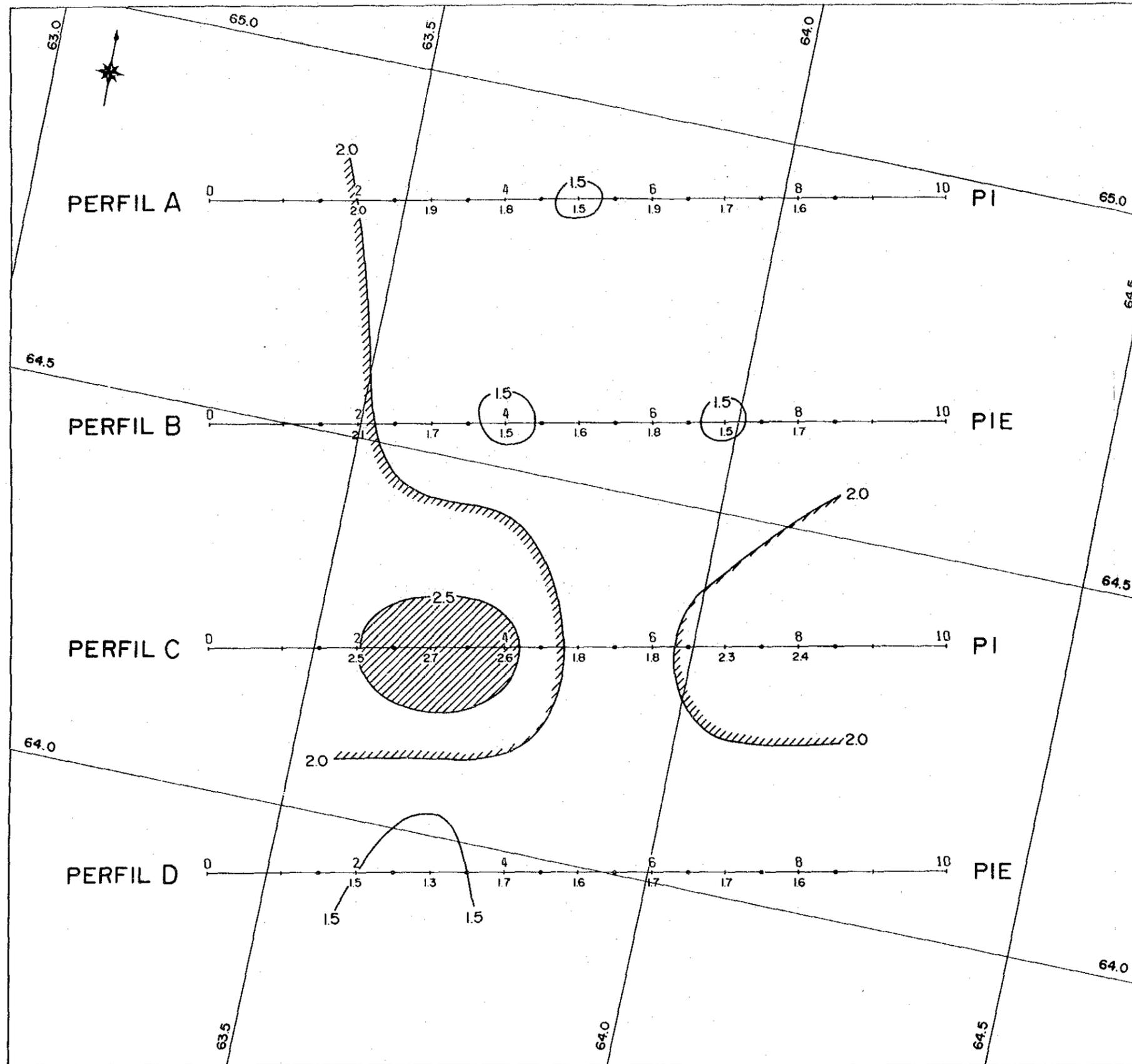


Fig. 1-15 Plano de PEF  
(Sector I, n=2)

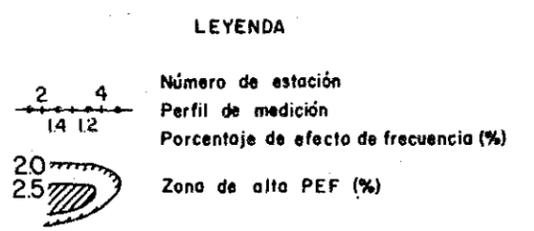
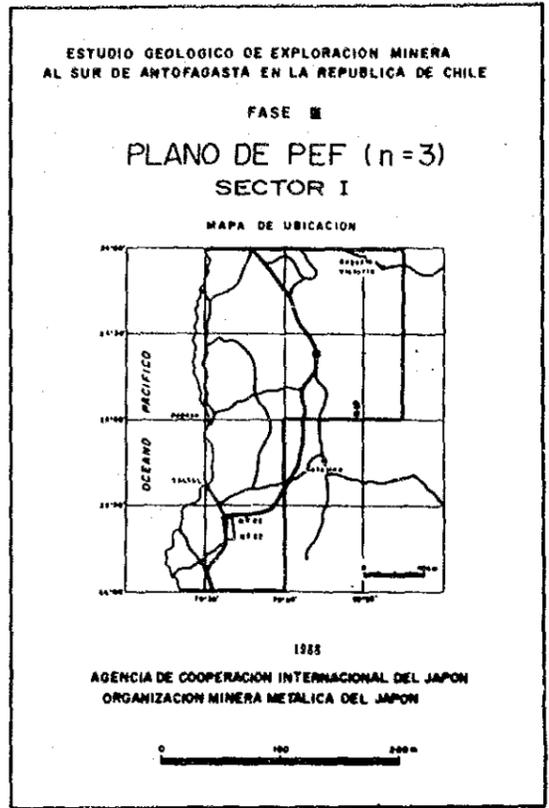
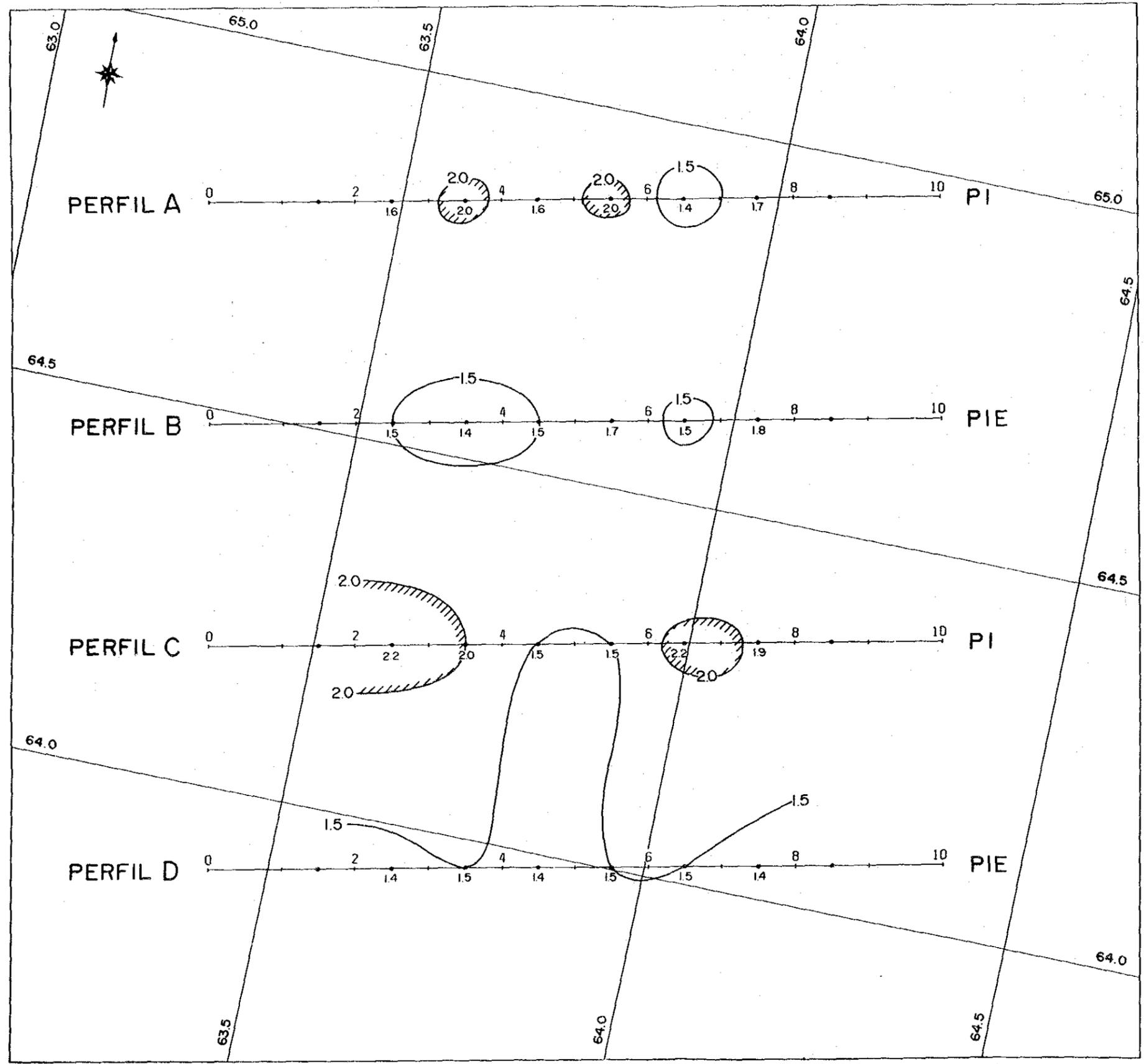


Fig. 1-16 Plano de PEF (Sector I, n=3)

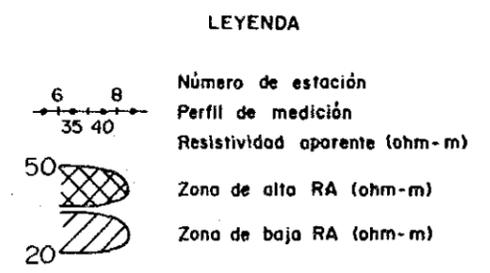
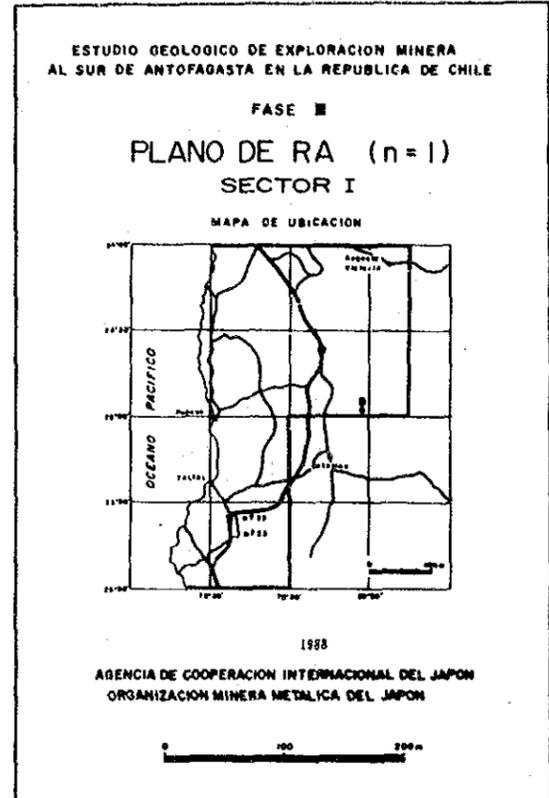
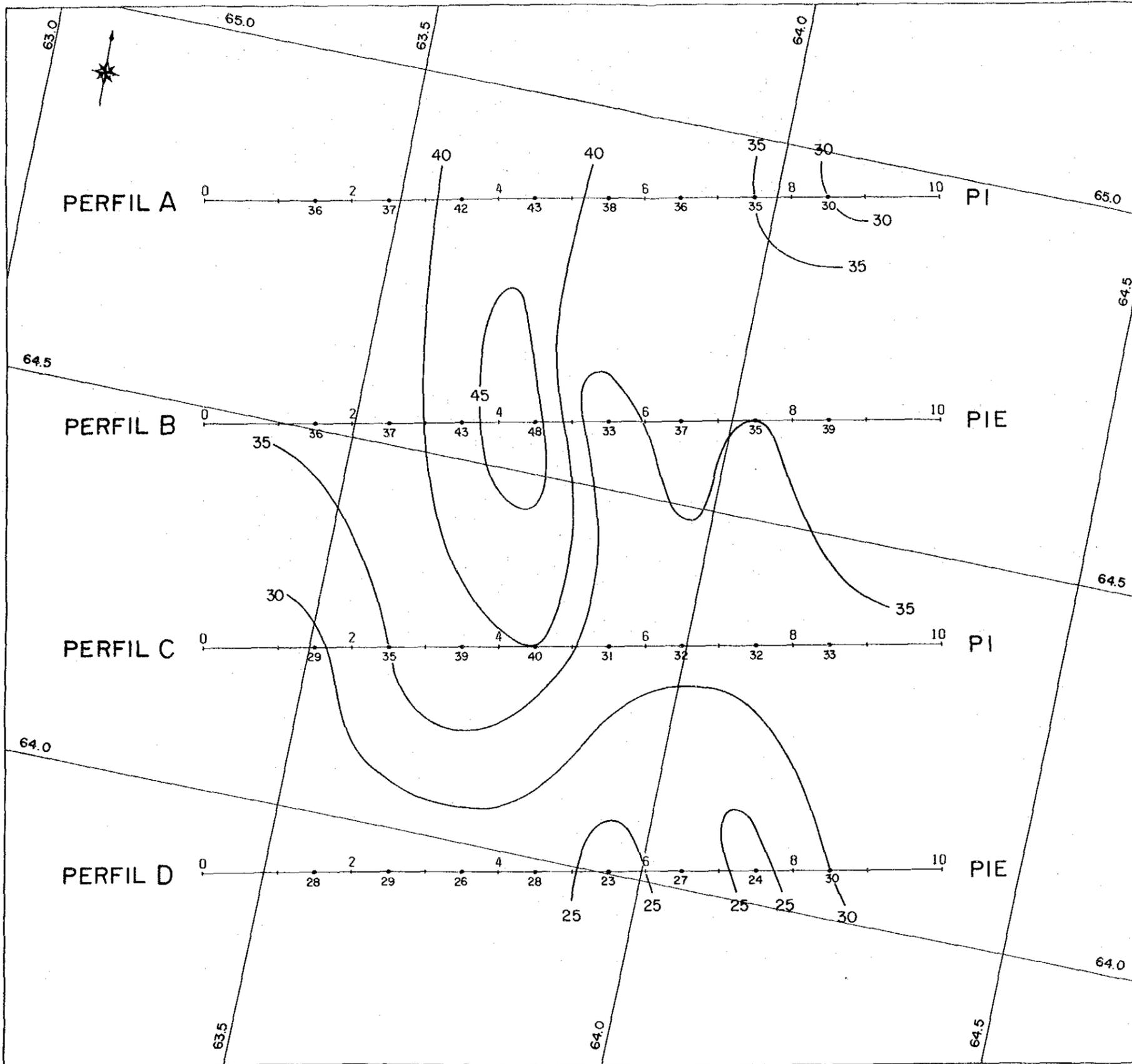


Fig. 1-17 Plano de R A  
(Sector I, n=1)

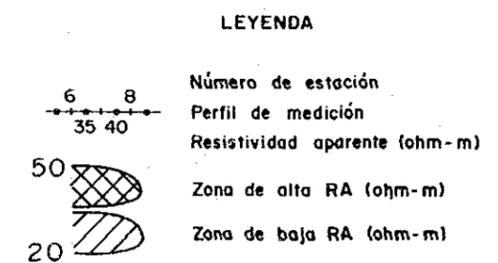
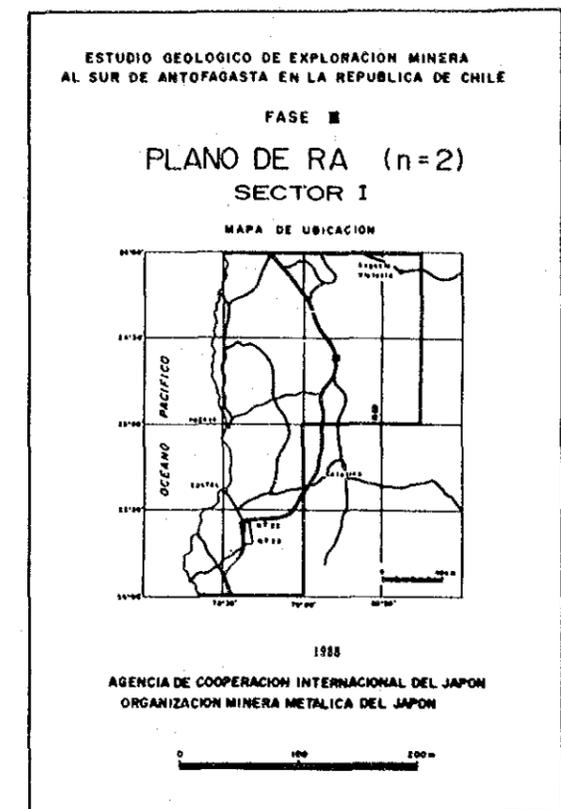
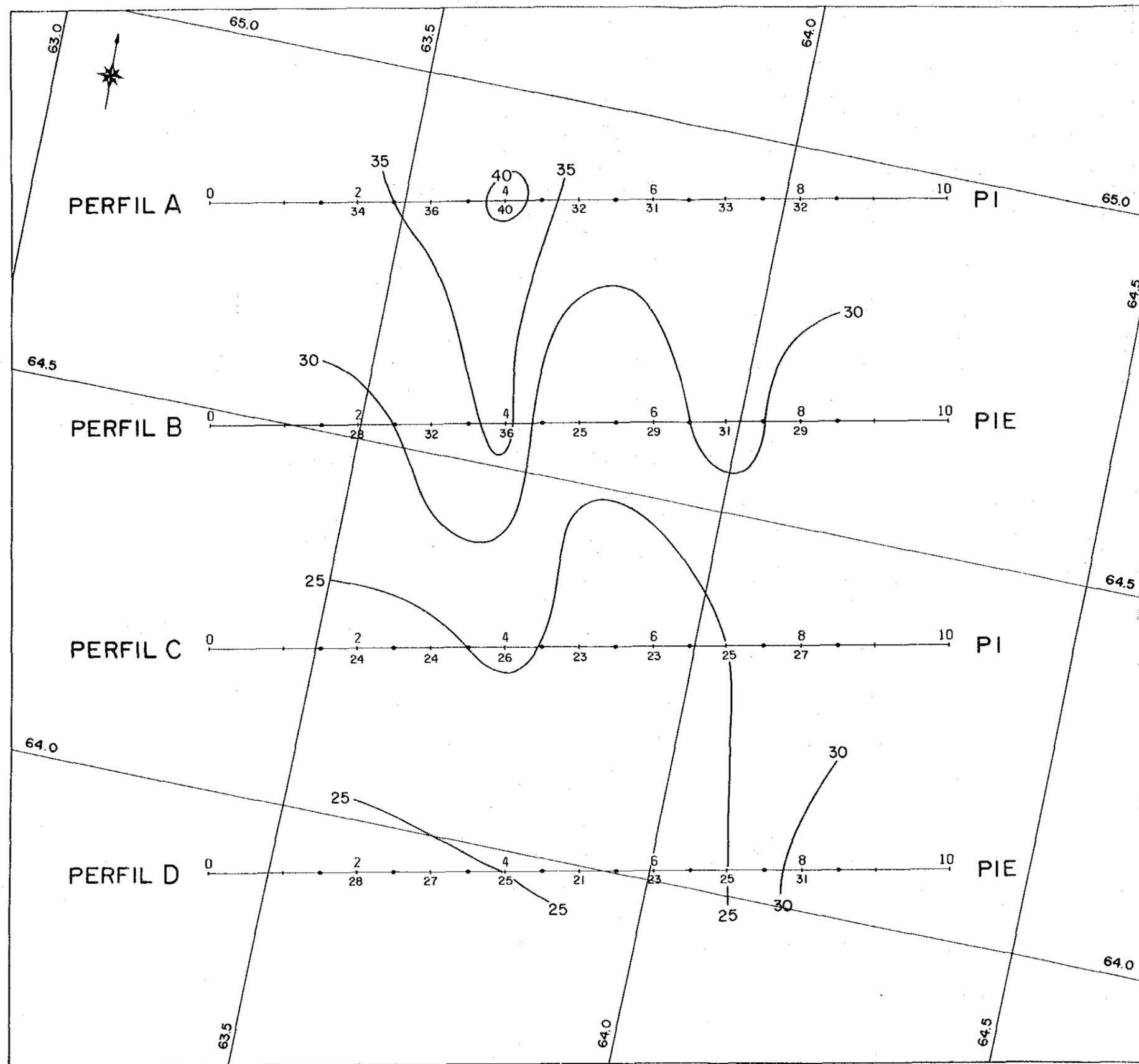


Fig. 1-18 Plano de R A  
(Sector I, n=2)

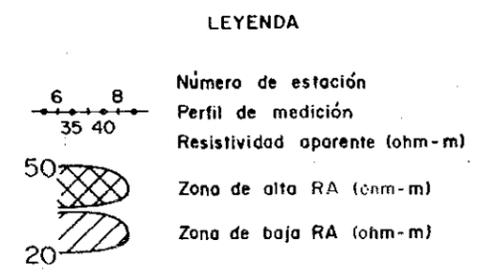
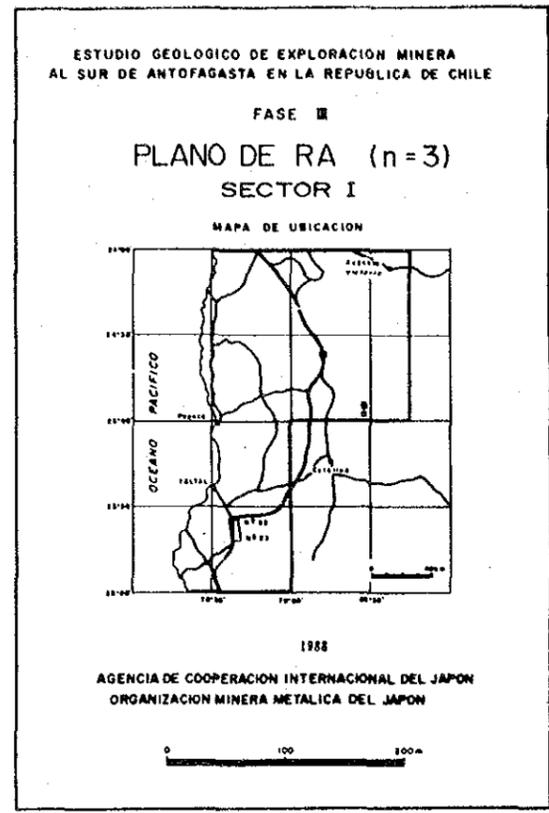
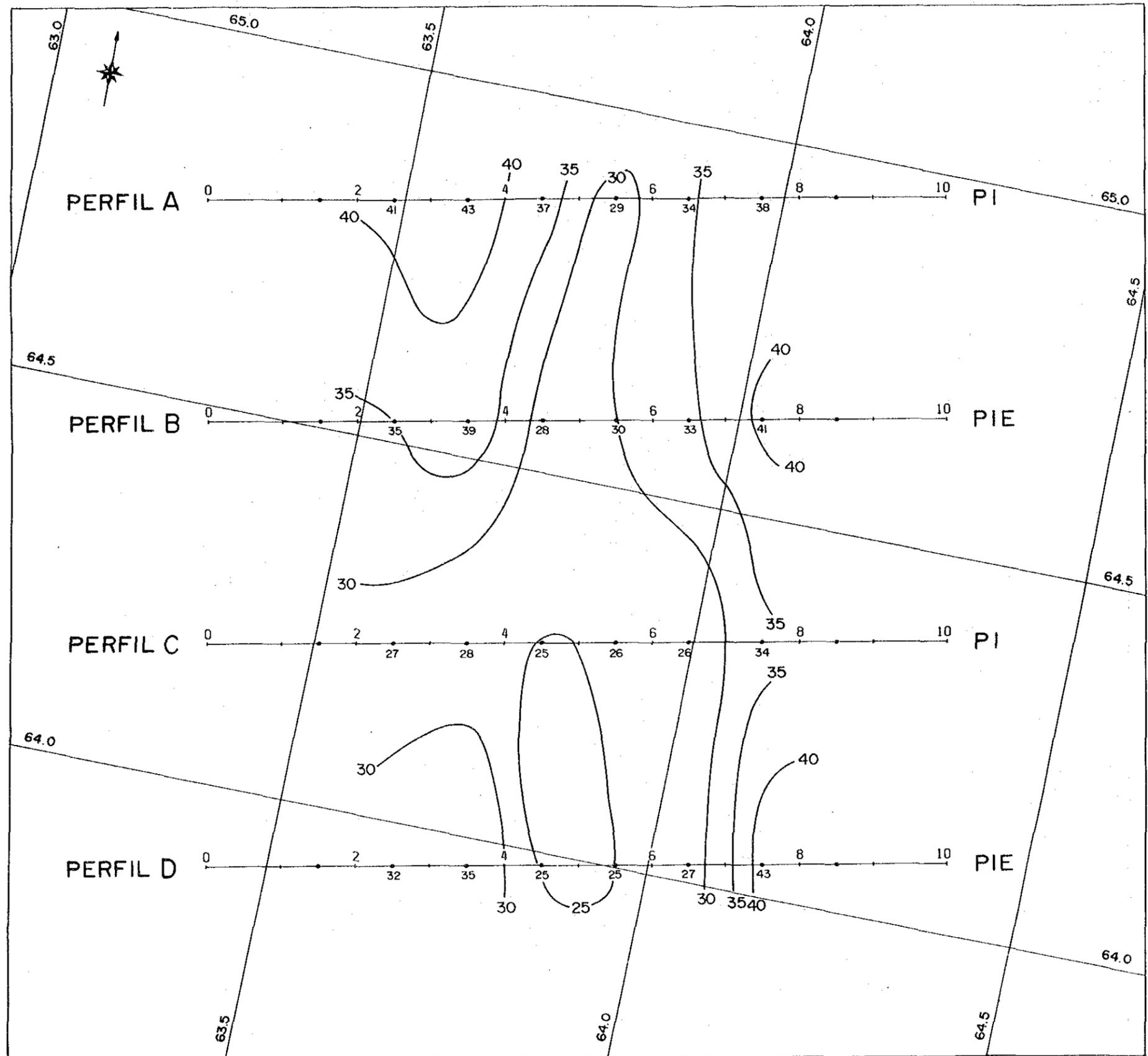


Fig. 1-19 Plano de R A (Sector I, n=3)

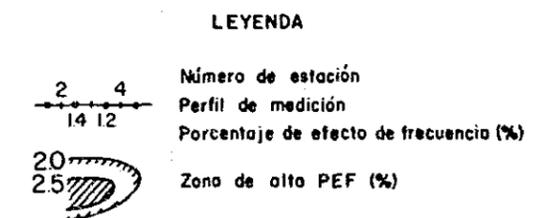
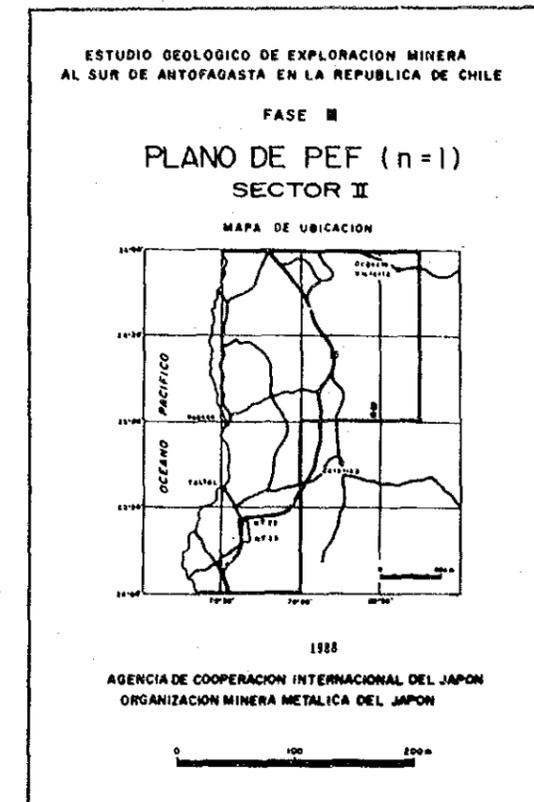
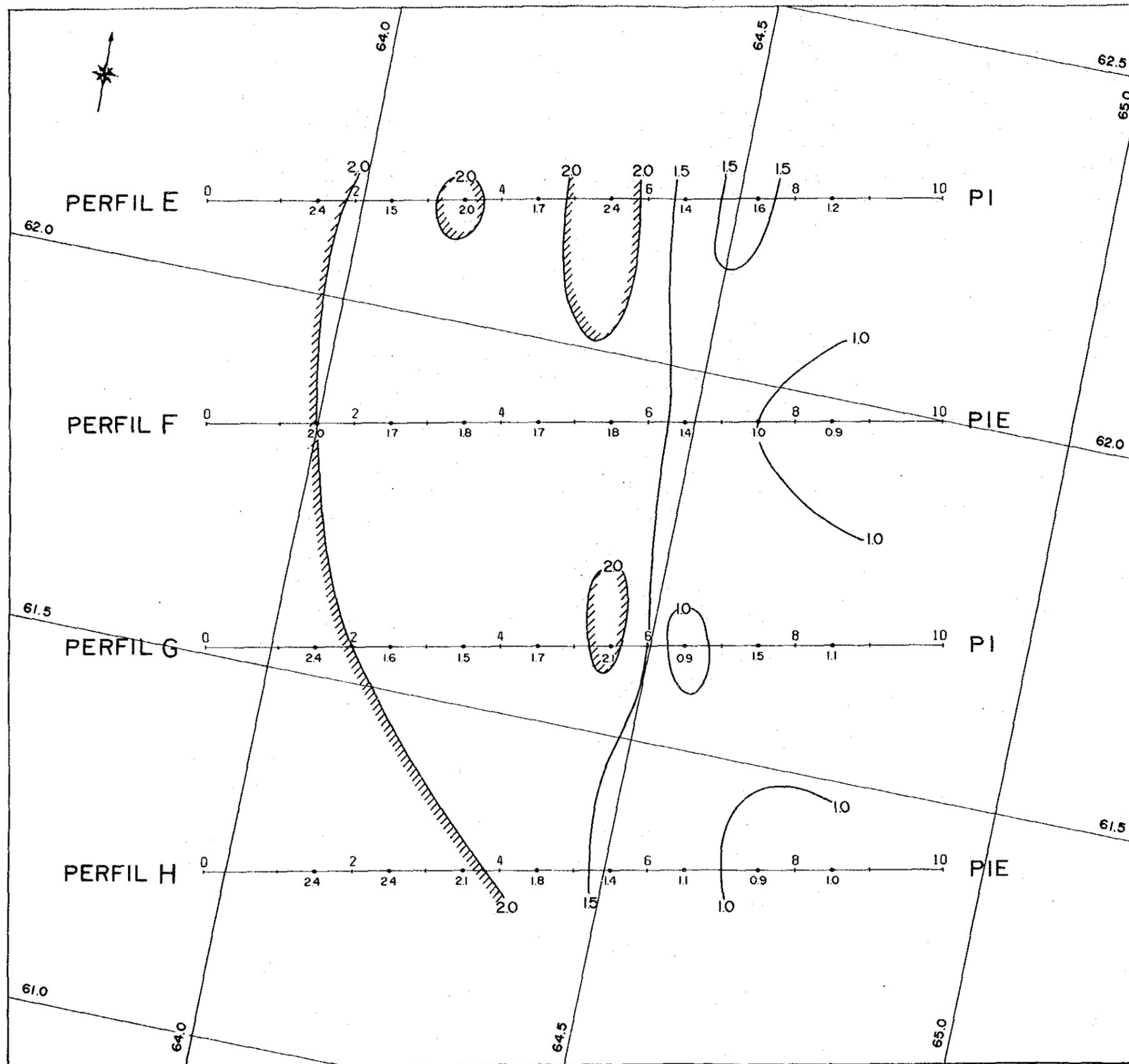


Fig. 1-20 Plano de PEF (Sector I, n=1)

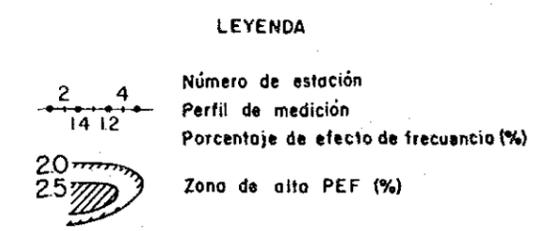
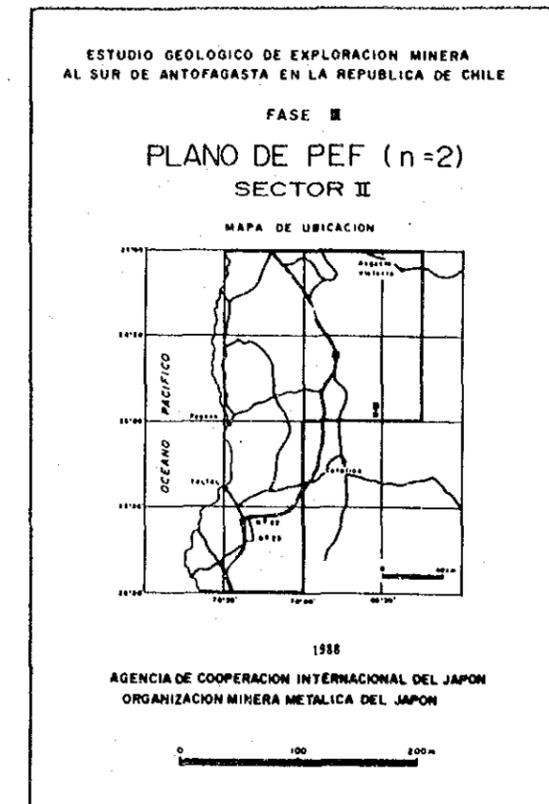
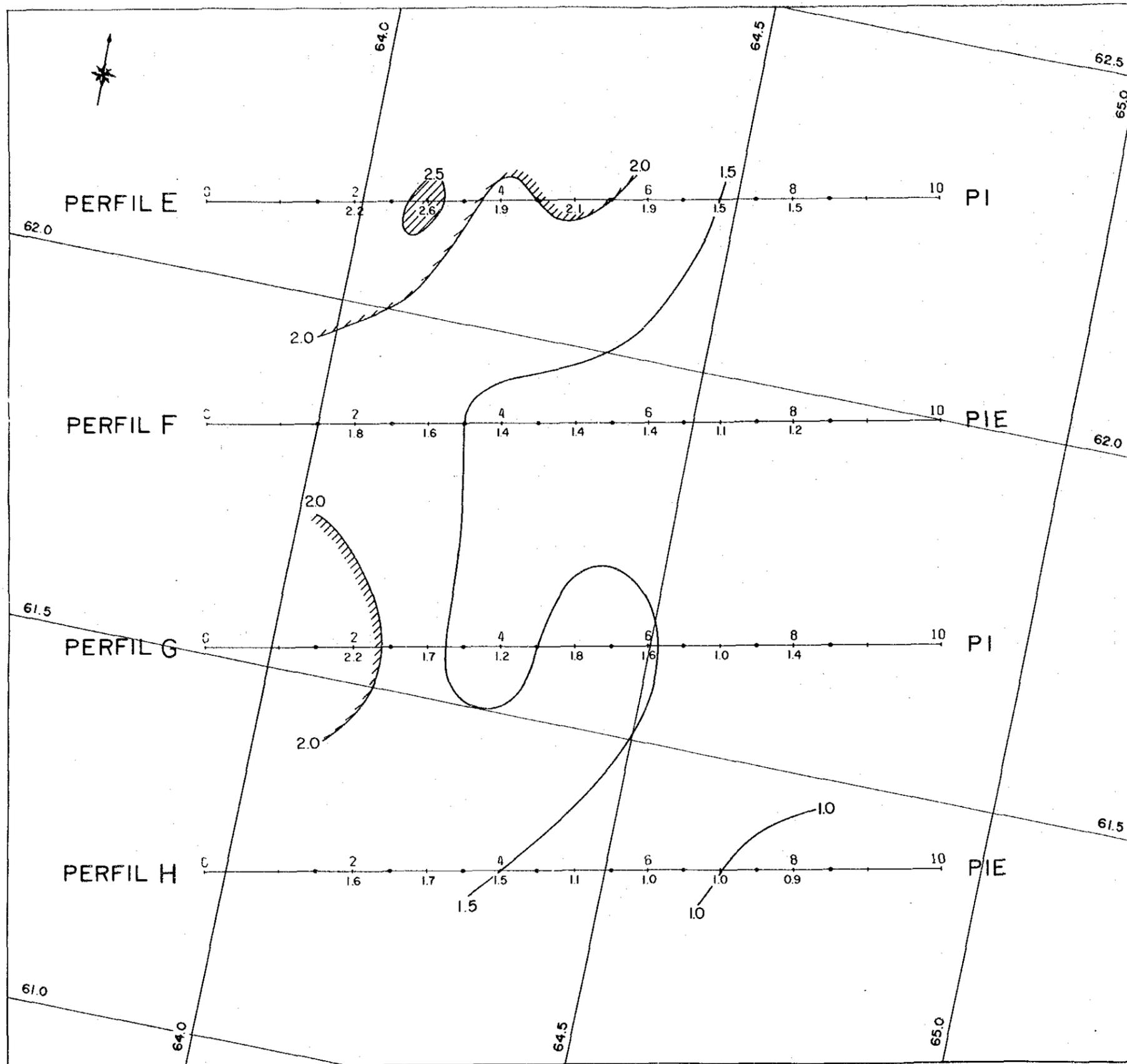


Fig. 1-21 Plano de PEF (Sector I, n=2)

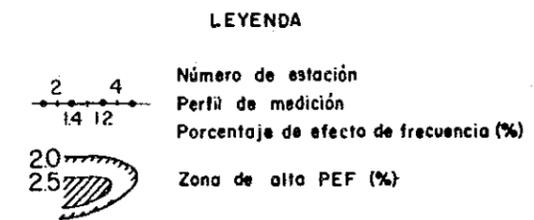
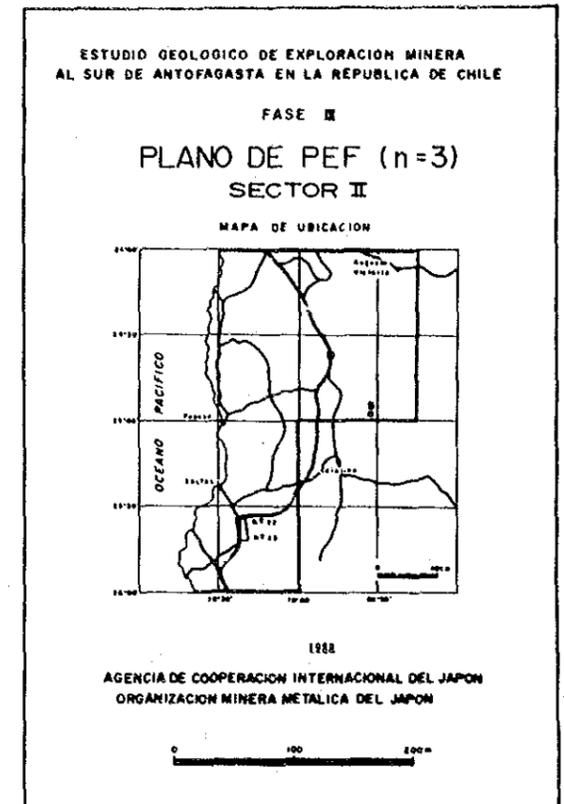
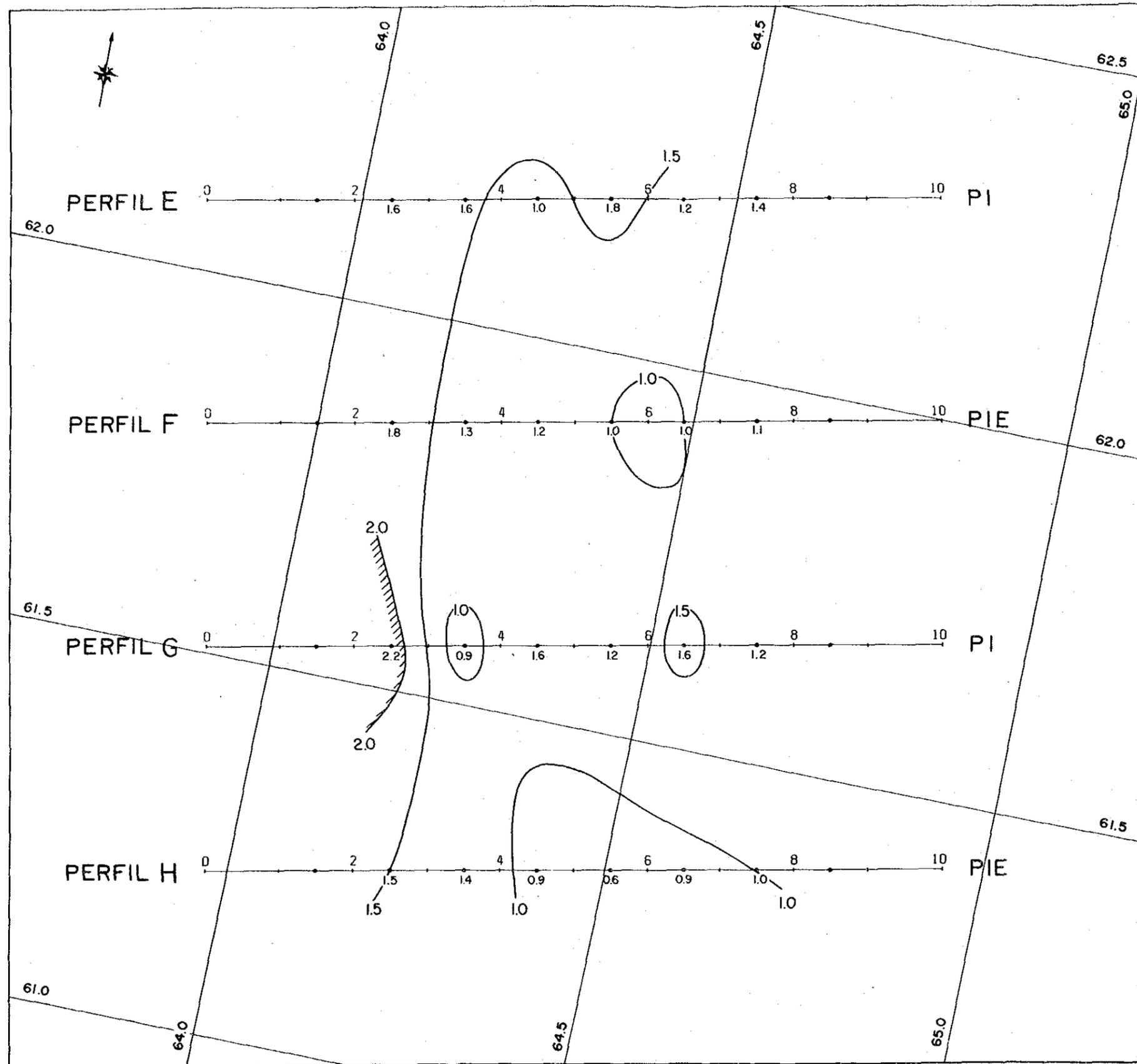


Fig. 1-22 Plano de PEF (Sector II, n=3)

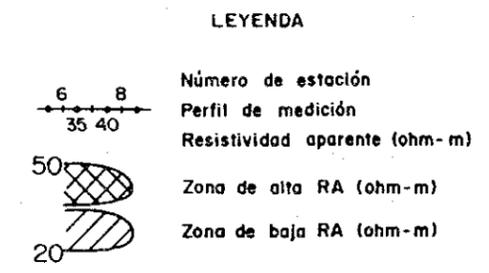
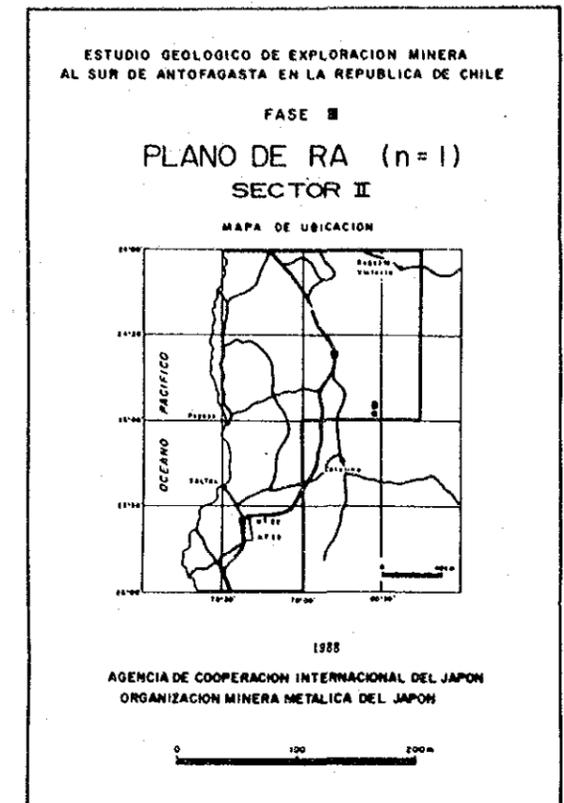
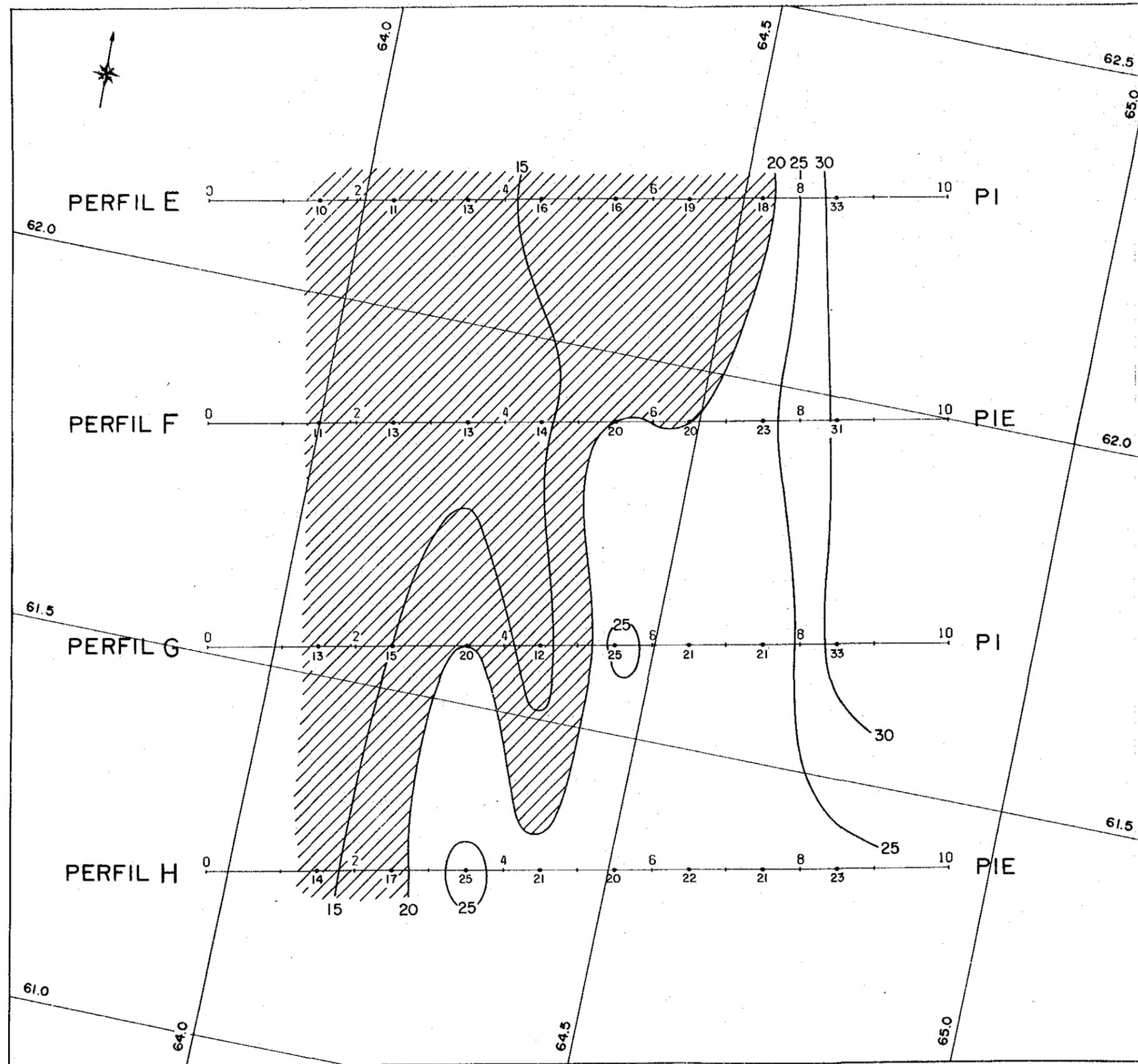


Fig. 1-23 Plano de R A (Sector II, n=1)

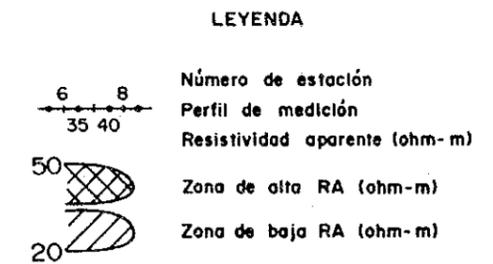
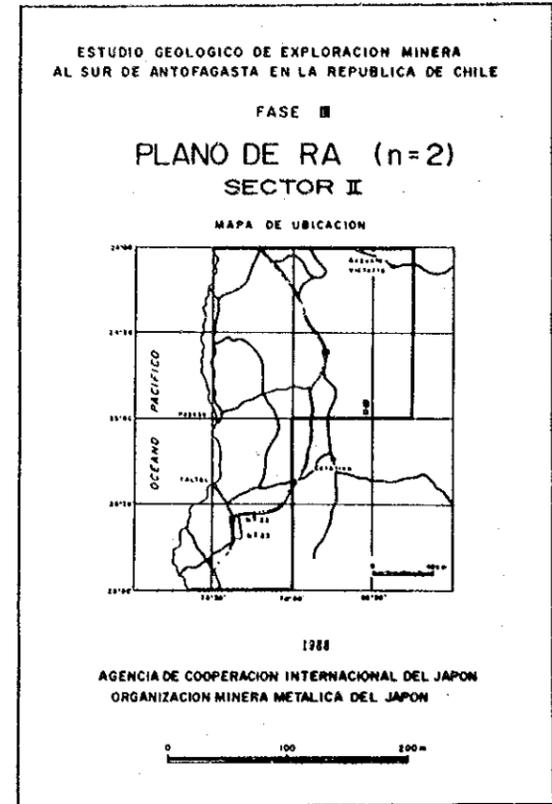
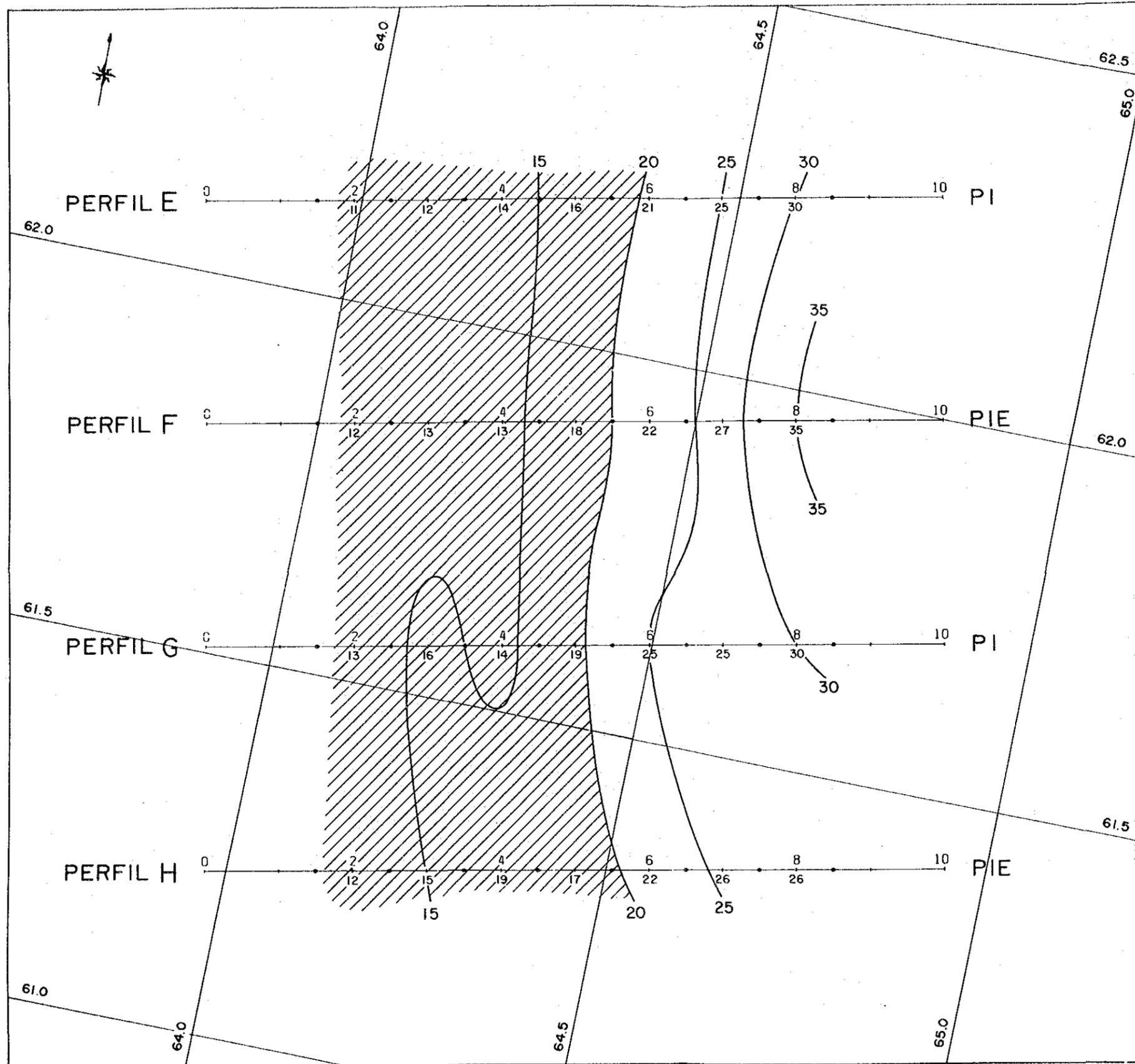


Fig. 1-24 Plano de R A (Sector I, n=2)

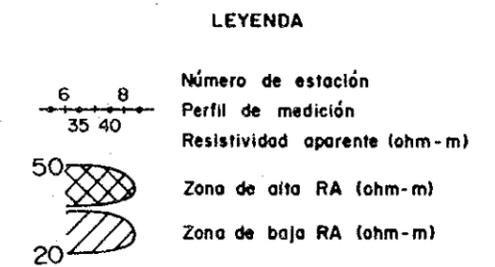
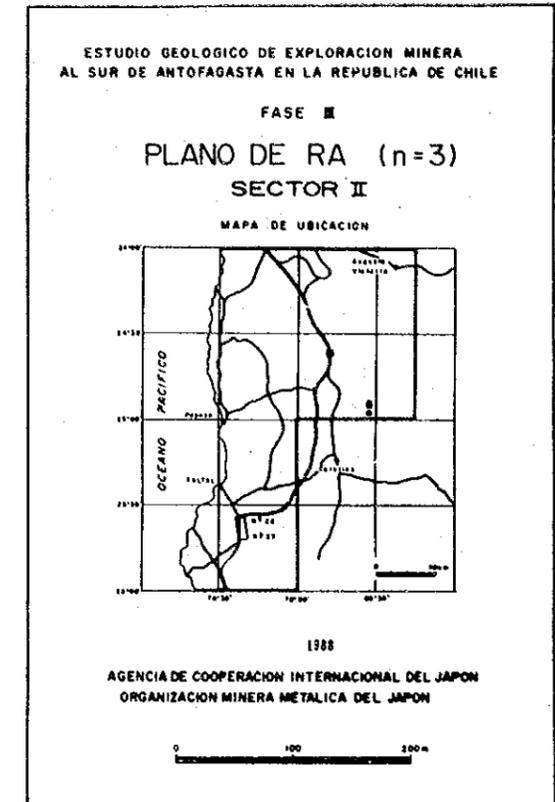
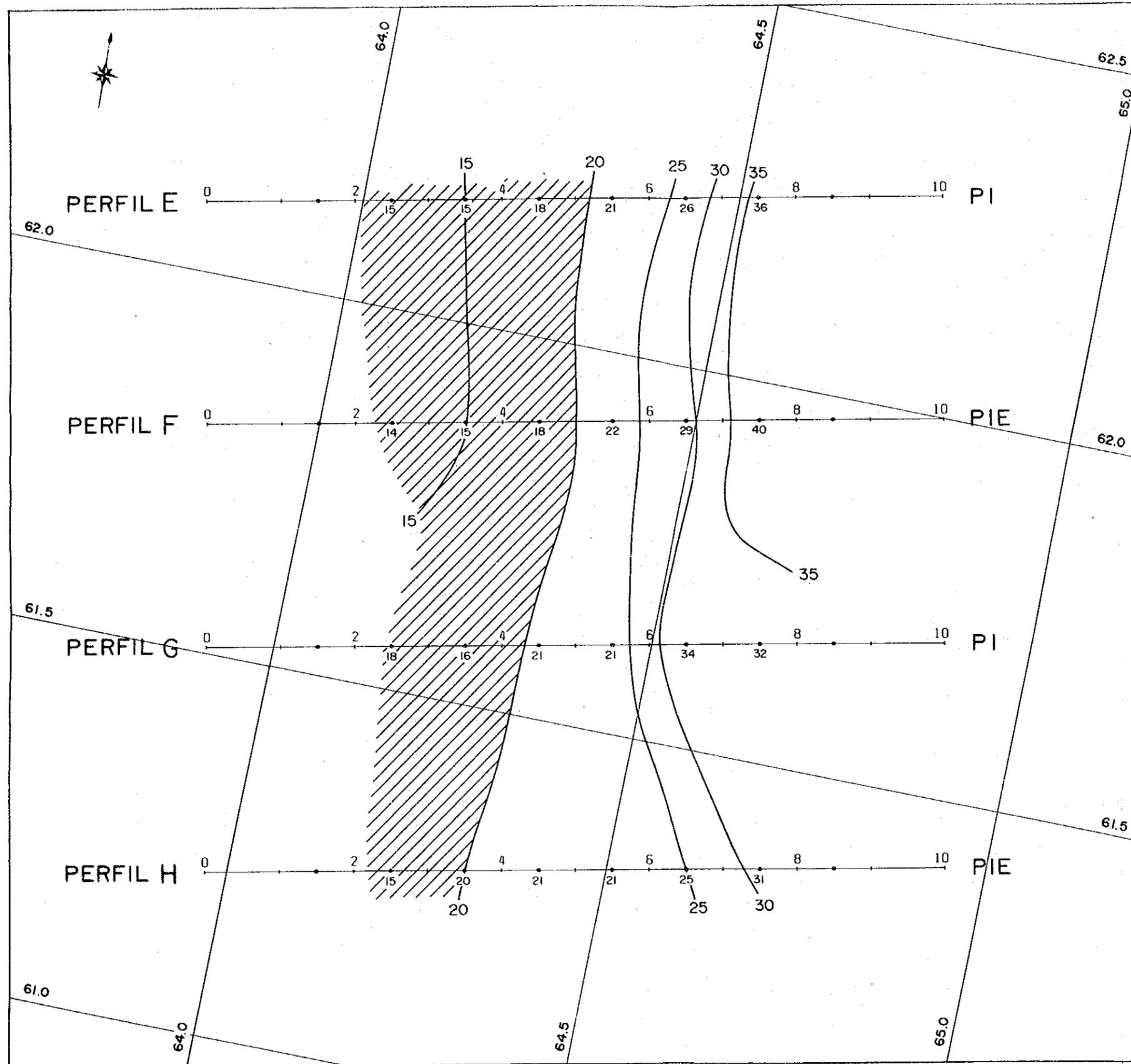


Fig. 1-25 Plano de R A  
(Sector I, n=3)

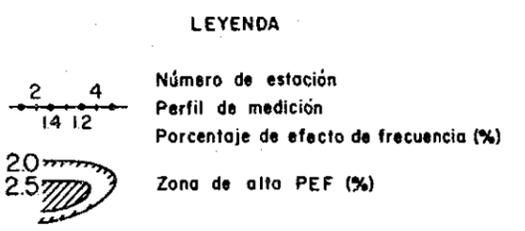
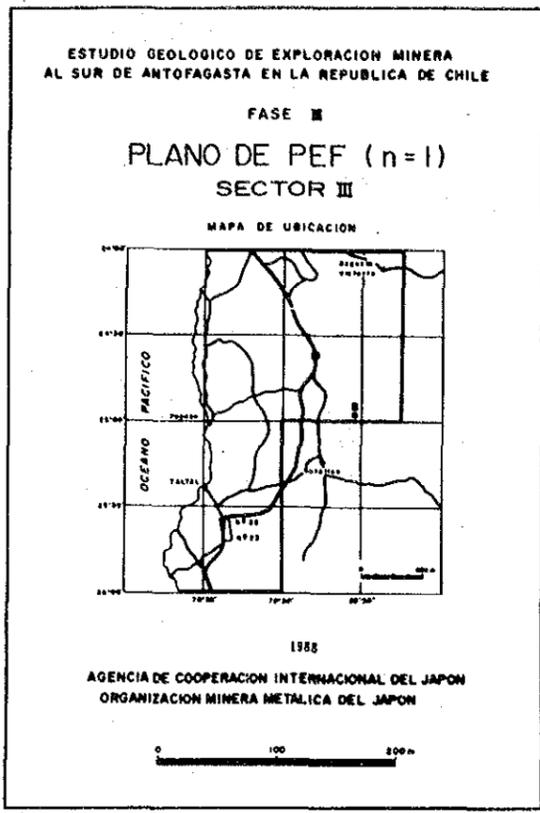
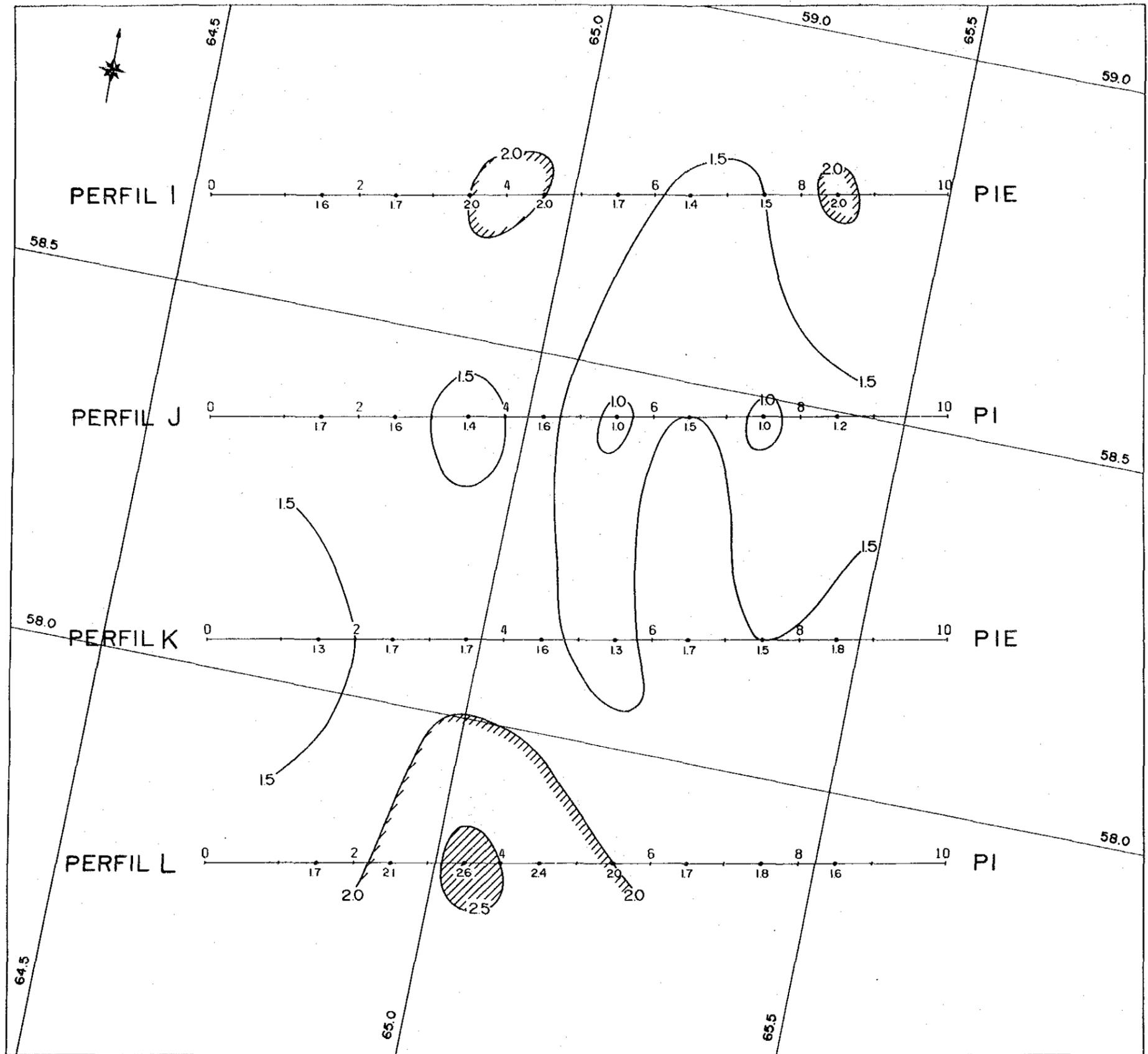


Fig. 1-26 Plano de PEF (Sector I, n=1)

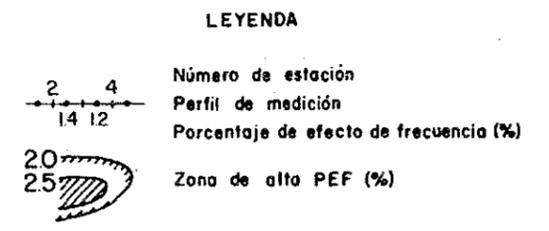
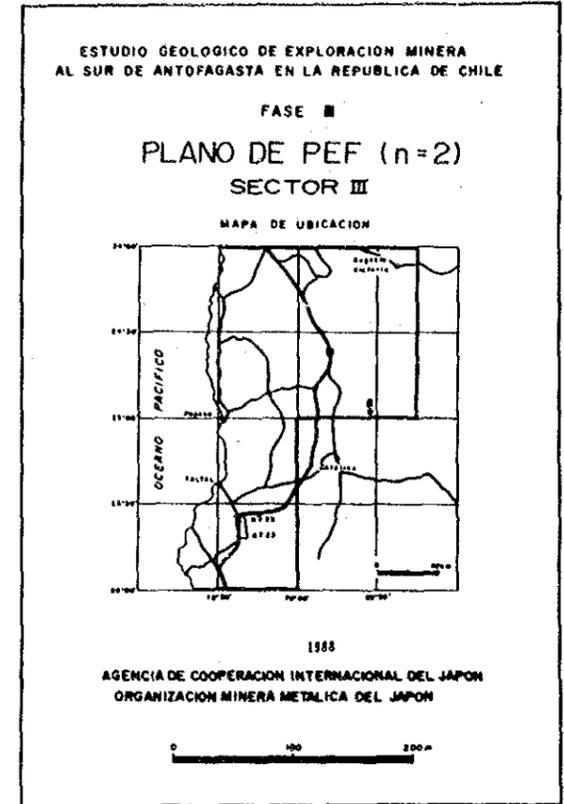
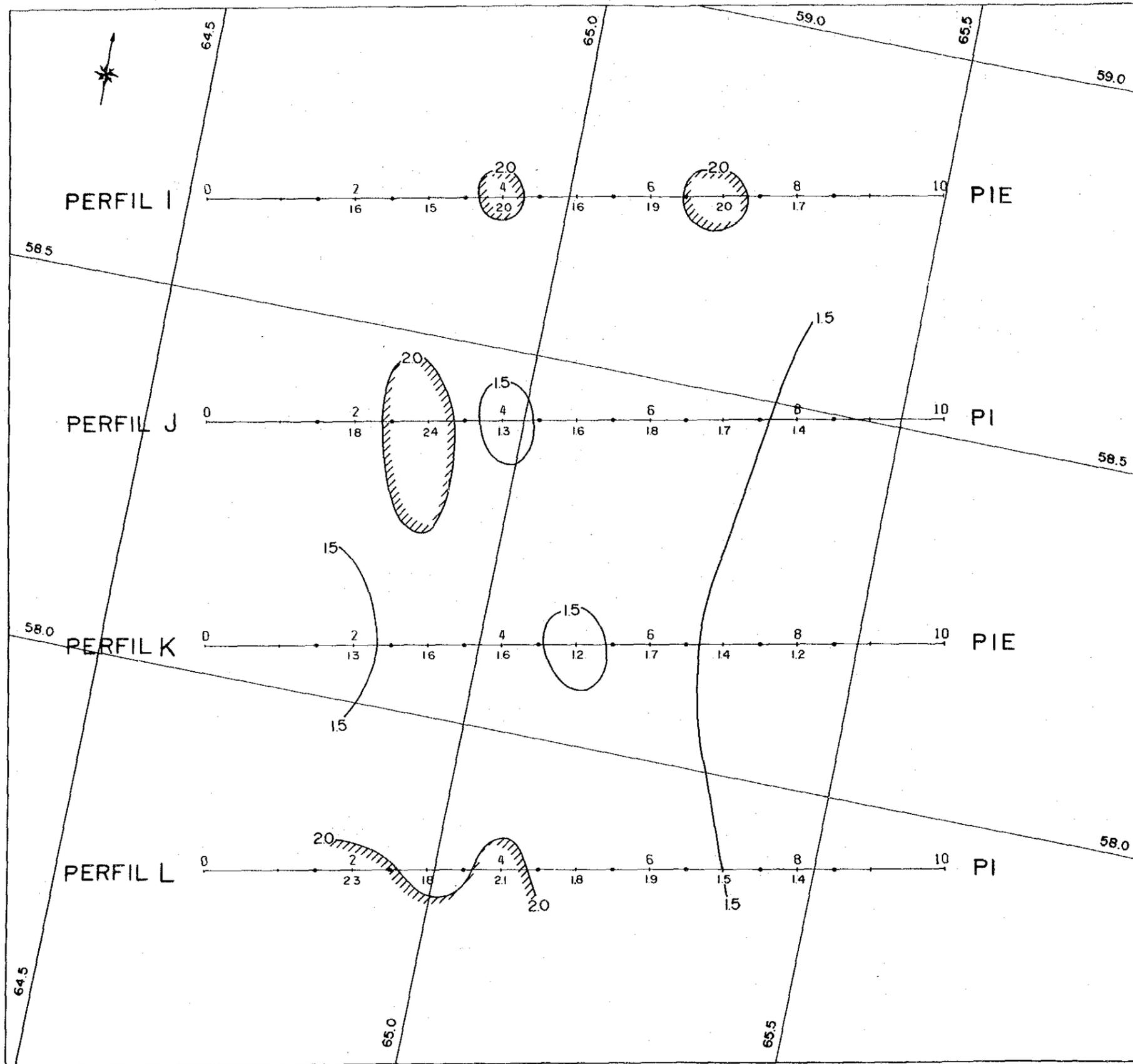


Fig. 1-27 Plano de PEF (Sector III, n=2)

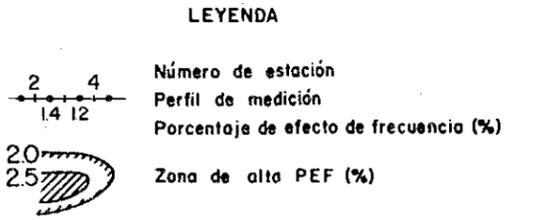
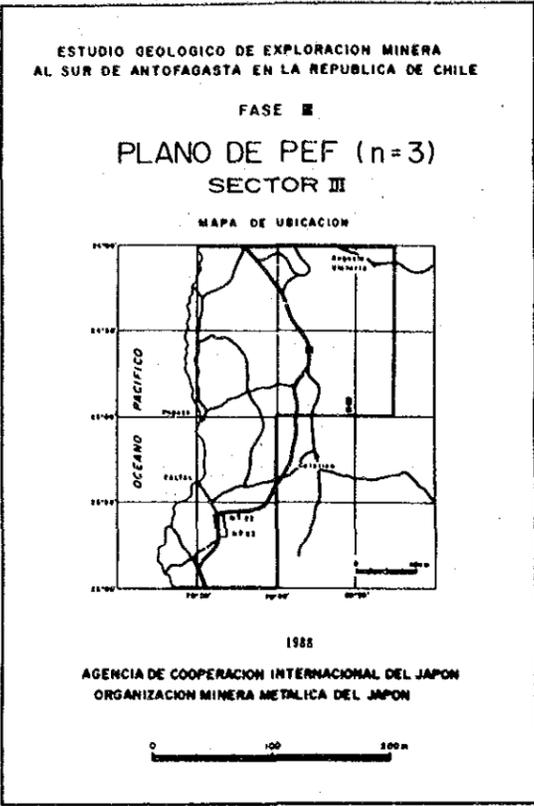
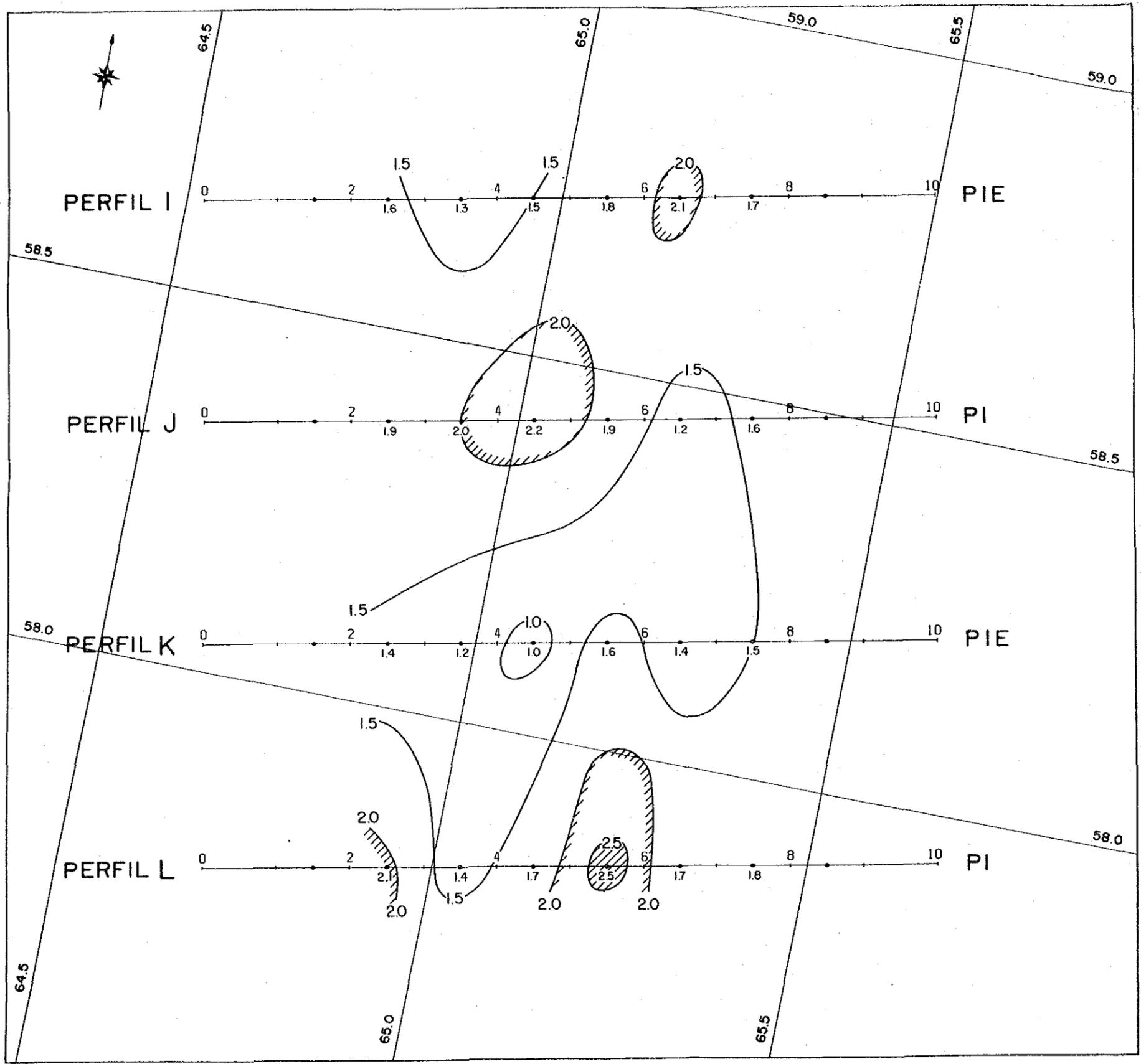


Fig. 1-28 Plano de PEF (Sector III, n=3)



oriental de las líneas I, J y K. En el plano correspondiente a  $n = 3$  se encuentra una zona con valores menores que 1,5% de PEF distribuida preferentemente en la parte central del perfil K.

b. R A ( Fig. I -29~ Fig. I -31, PL.19 ~PL.21)

En los perfiles J a L existen zonas de una notoria alta RA con valores mayores que 50 ohm-m y que se extienden en la dirección NW-SE en los planos correspondientes a  $n = 1$  a  $n = 3$ . Alrededor de las zonas de alta RA se distribuyen zonas de baja RA en el perfil I y en la parte occidental de los perfiles J al L.

(2) Seudosecciones de fase

A continuación se presentan las pseudosecciones de fase de los perfiles B, D, F, H, I, K, con Polarización Inducida Espectral ( PIE), para lo cual se usaron 5 valores de frecuencia ( 0.125, 0.375, 0.625, 1 y 3 Hz).

Los valores de diferencia de fase obtenidos antes del proceso de desacoplamiento fueron negativos, lo cual indica una diferencia de fase en todos los puntos medidos de los perfiles. Esta diferencia de fase es directamente proporcional a la frecuencia utilizada.

La diferencia de fase en las frecuencias 1 a 0.125Hz dió un valor menor a 15 m.r.a.d.

Este valor coincide aproximadamente con la posición a la cual le correspondería un valor mayor a 2.0% de PFE.

(3) Espectros de fase, magnitud y diagrama de Cole-Cole

Se consideraron 18 frecuencias entre 0.125 y 88Hz para estudiar los perfiles B, D, F, H, I, K, (Fig . 1-35 a 1-37). En todos ellos se obtuvieron valores negativos. En las sectores de baja frecuencia ( 1-35kZ ), al aumentar ésta, se observó una tendencia a un leve aumento en el espectro de fase, en cambio, en los sectores de alta frecuencia el aumento fue brusco.

La diferencia de fase en el sector de alta frecuencia fue al coeficiente de separación electródica (n).

Se verificó que cuando  $n=1$ , el espectro de magnitud disminuyó levemente con respecto al aumento de frecuencia, en cambio, en los sectores de alta frecuencia éste disminuye abruptamente al aumentar n.





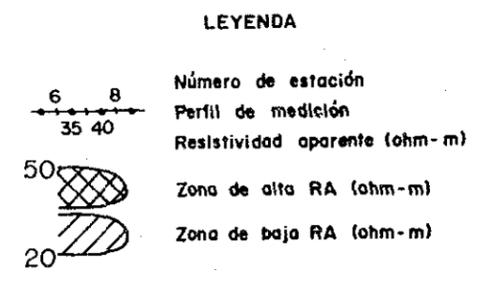
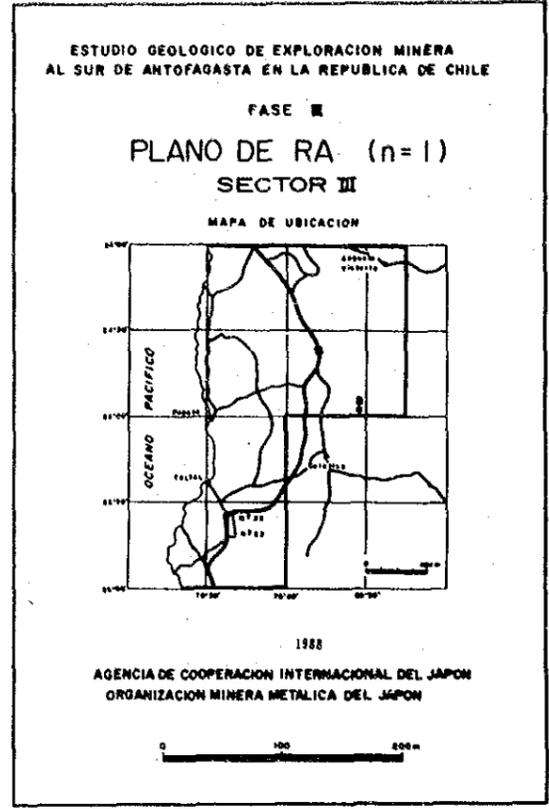
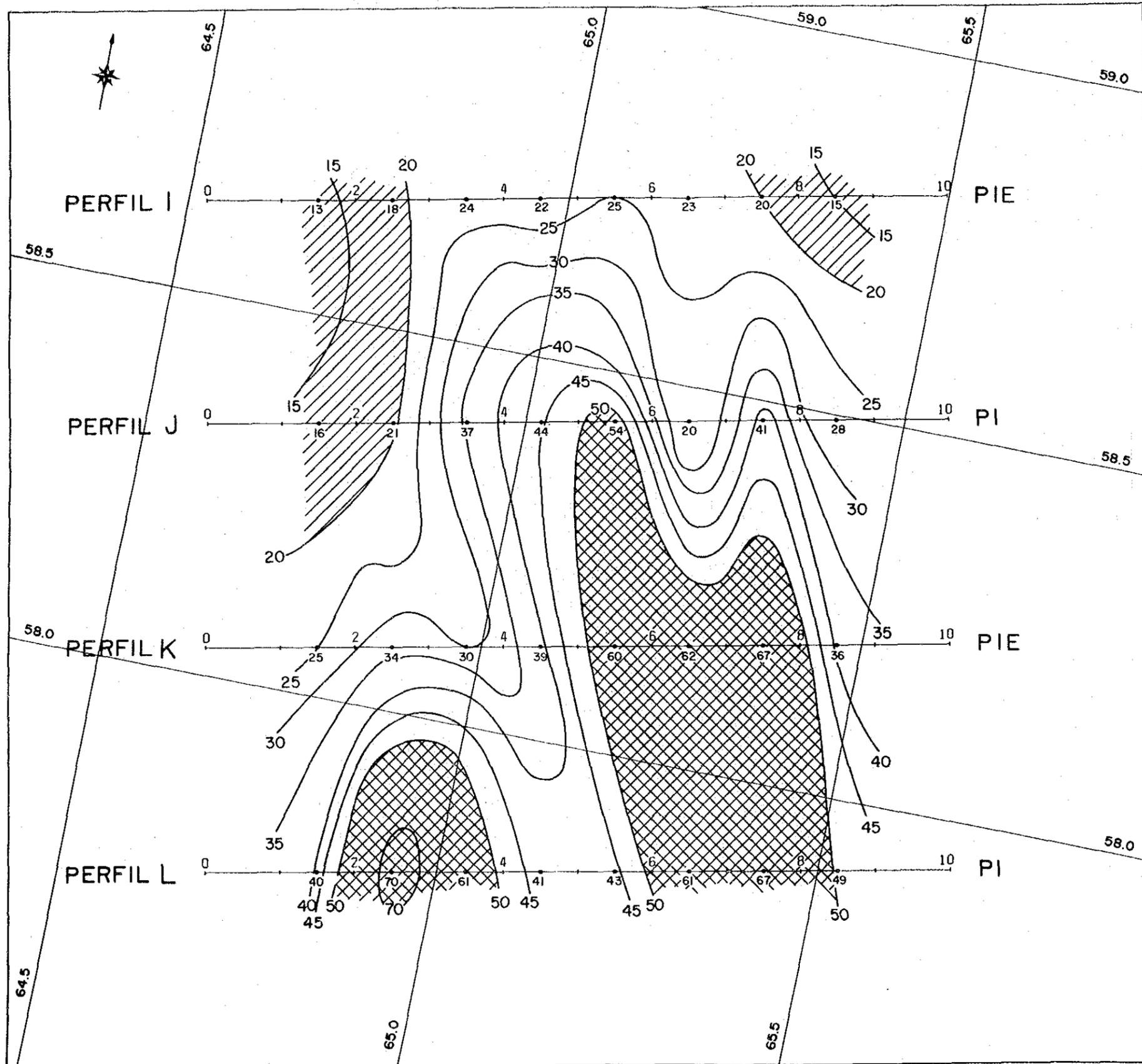


Fig. 1-29 Plano de R A  
(Sector III, n=1)

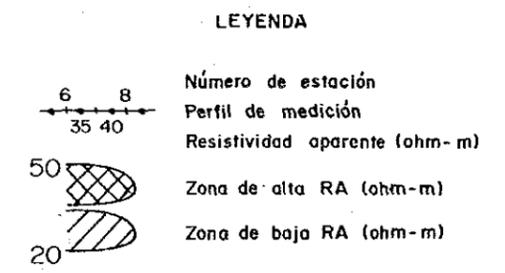
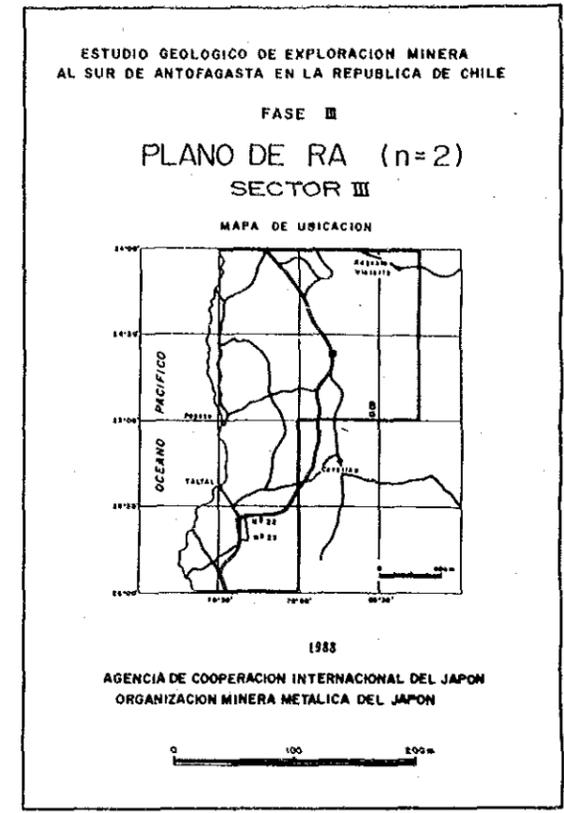
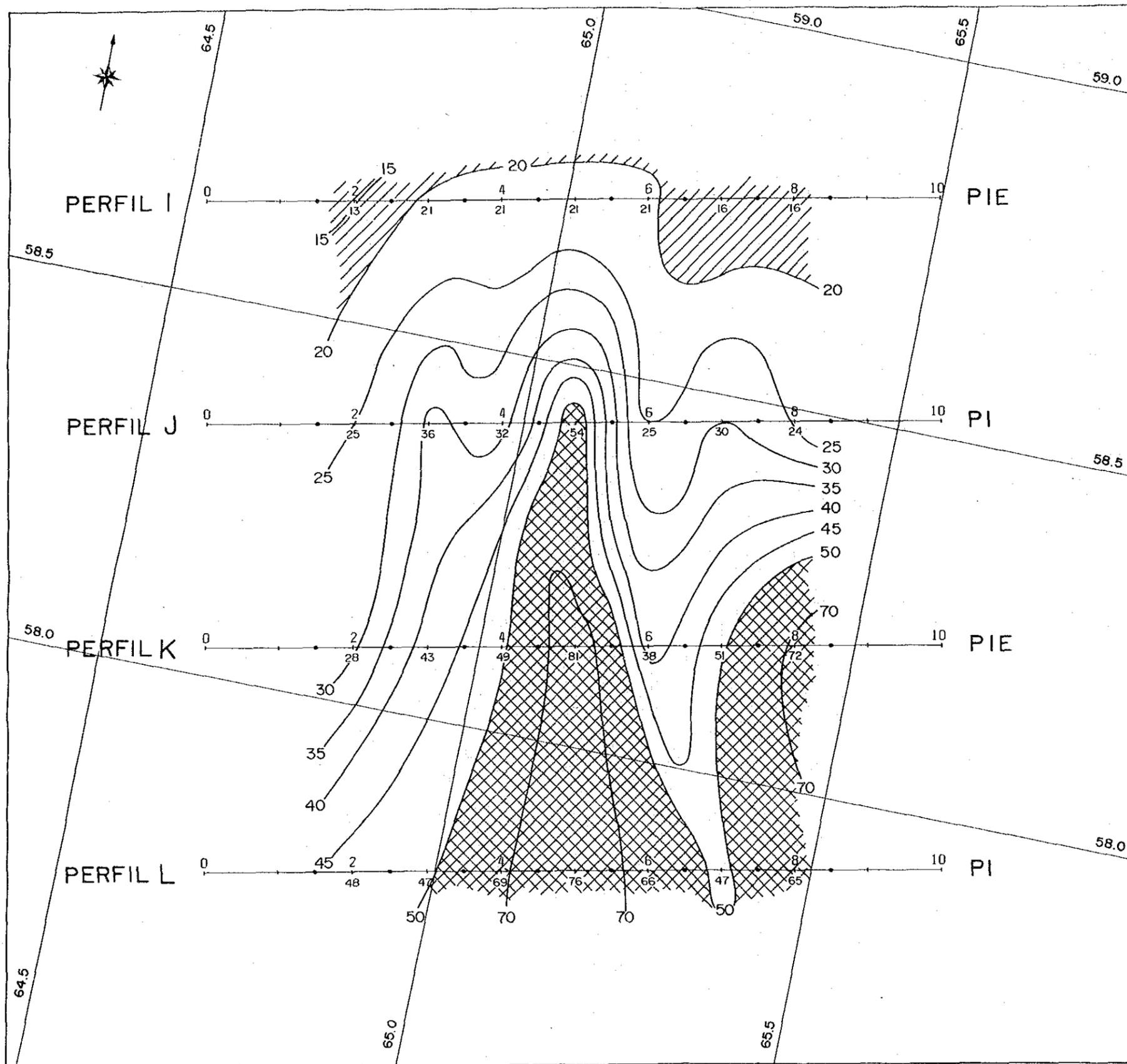


Fig. 1-30 Plano de R A  
(Sector III, n=2)

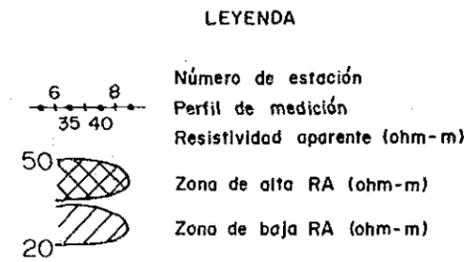
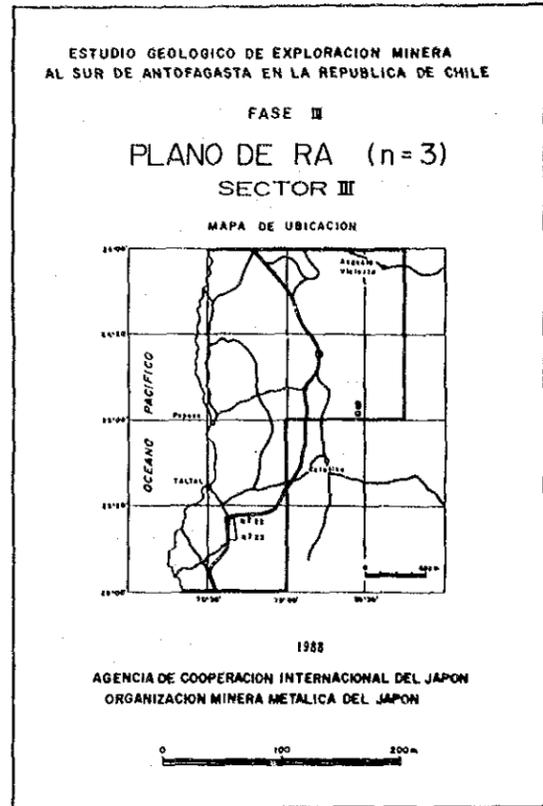
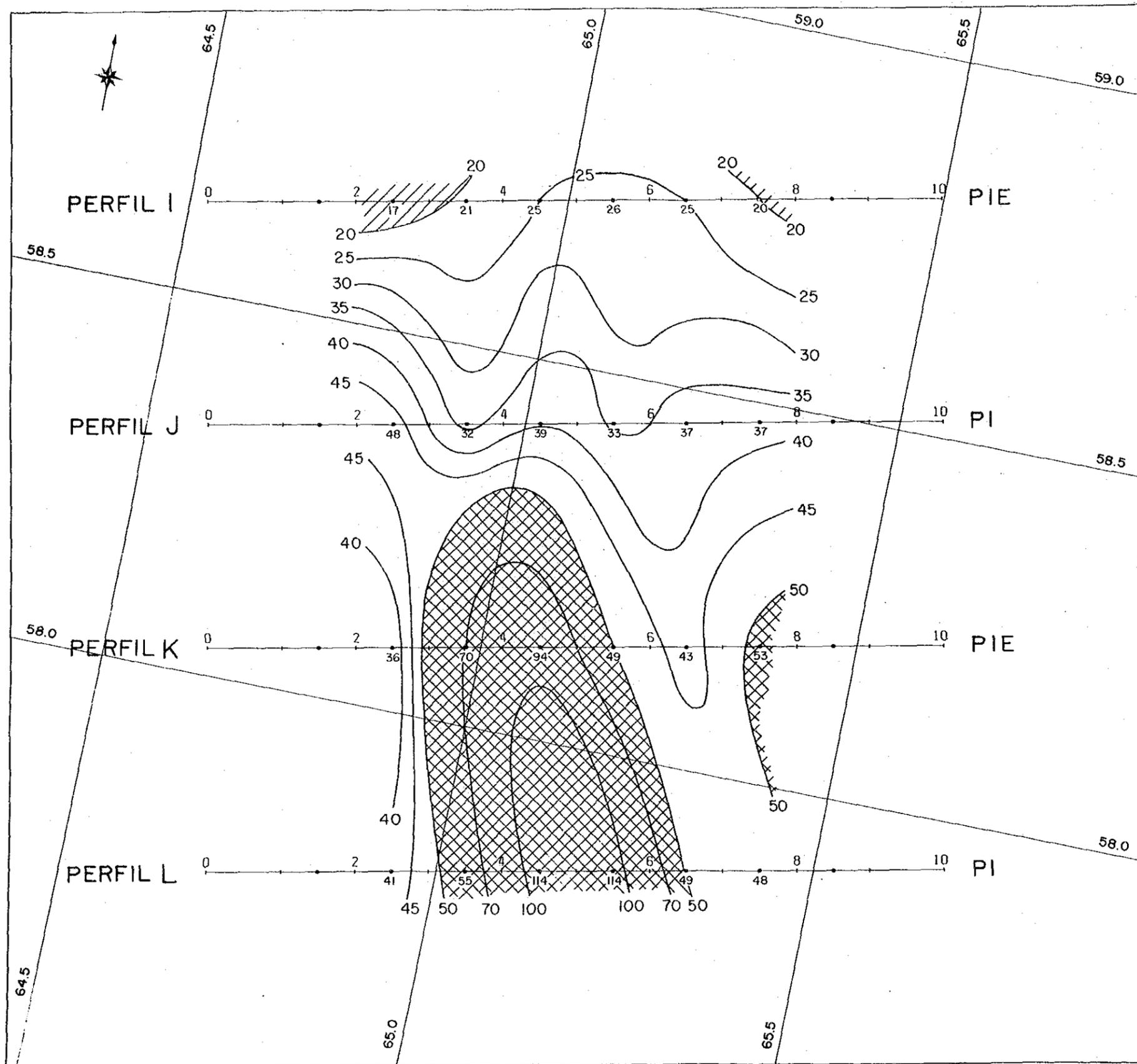


Fig. 1-31 Plano de R A  
(Sector II, n=3)





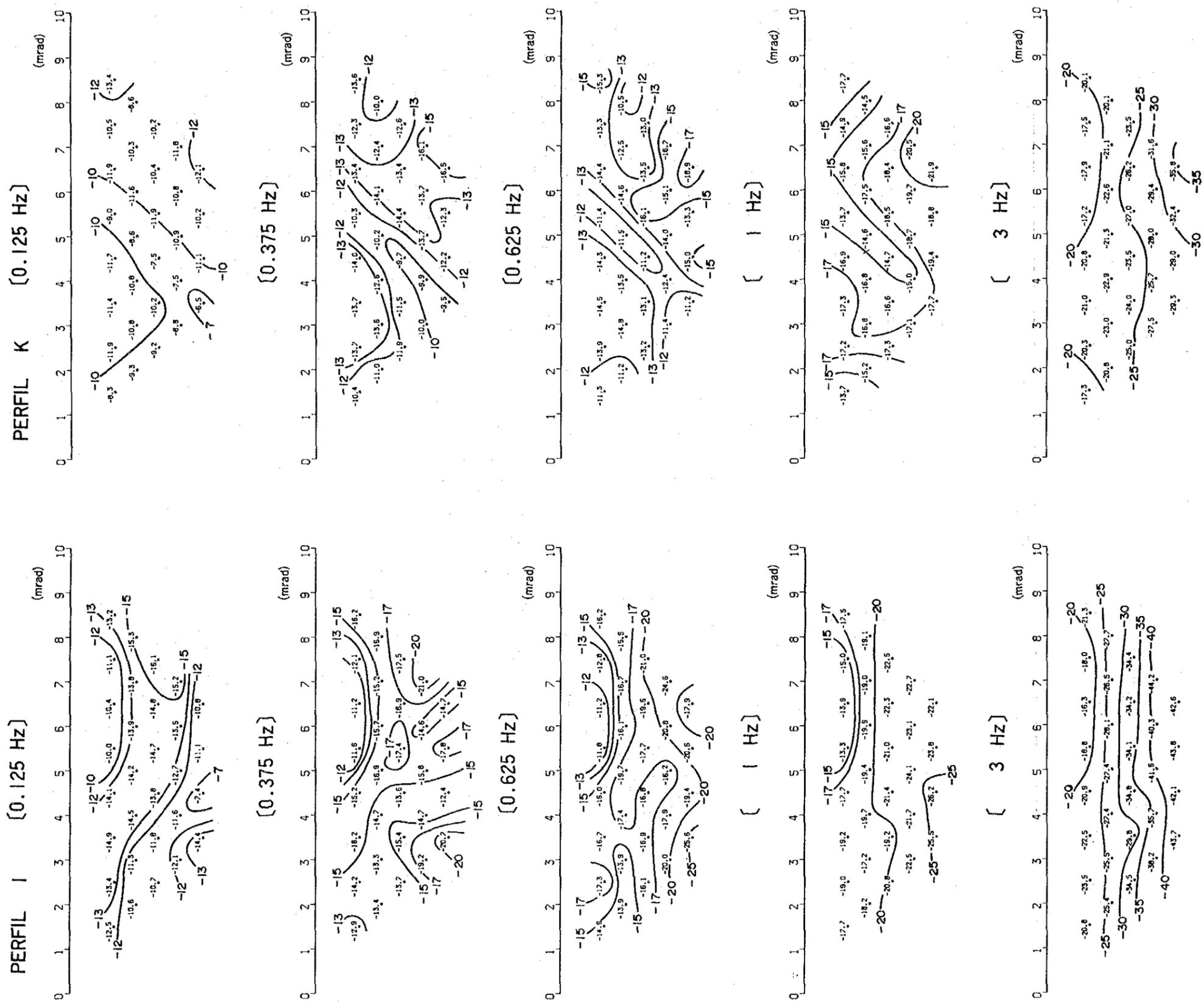
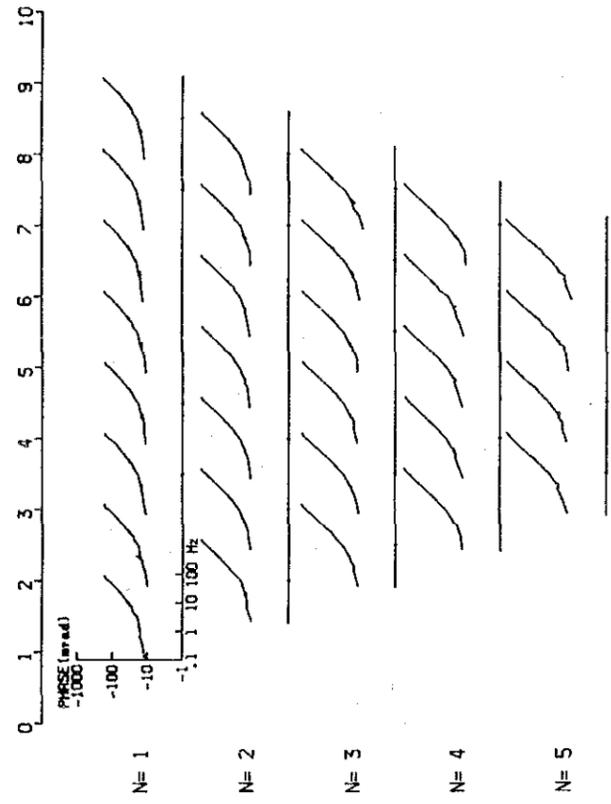


Fig. 1-34 Seudosecciones de fase (Sector I)

PERFIL B Espectro de fase



Espectro de magnitud

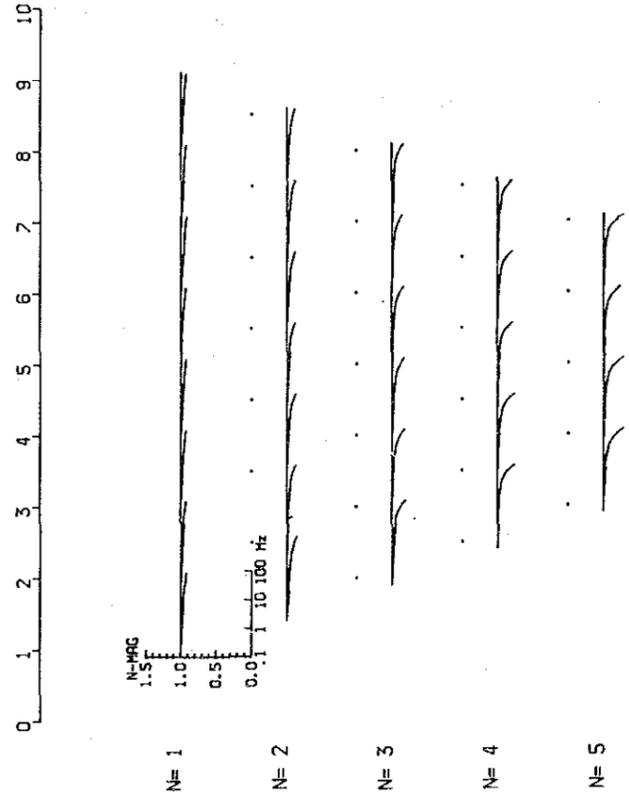
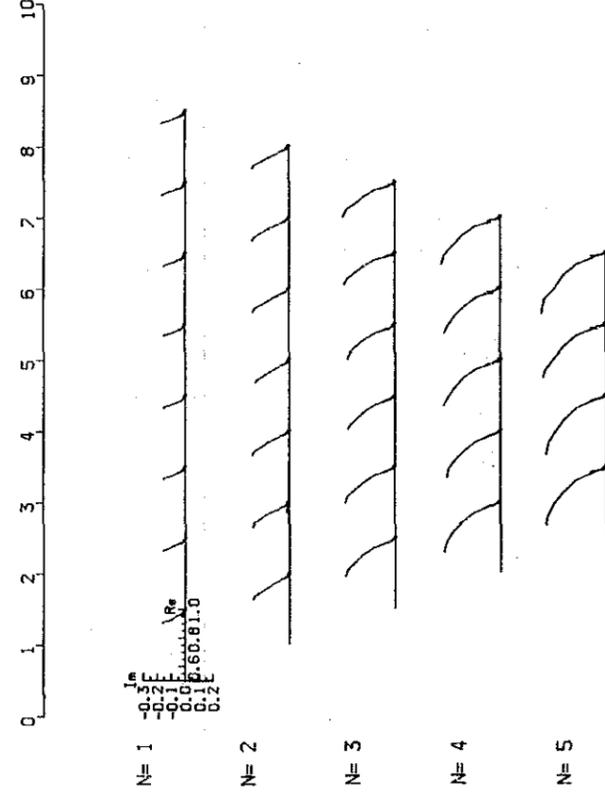
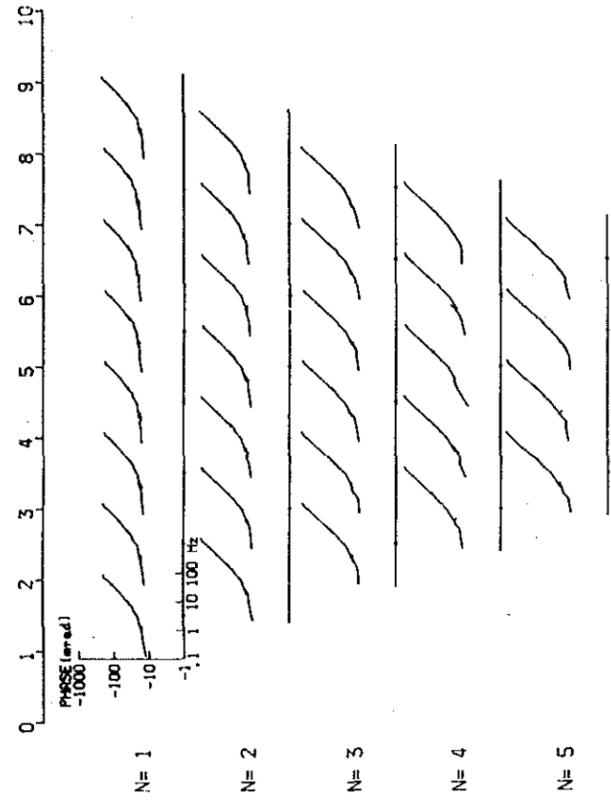


Diagrama Cole-Cole



PERFIL D Espectro de fase



Espectro de magnitud

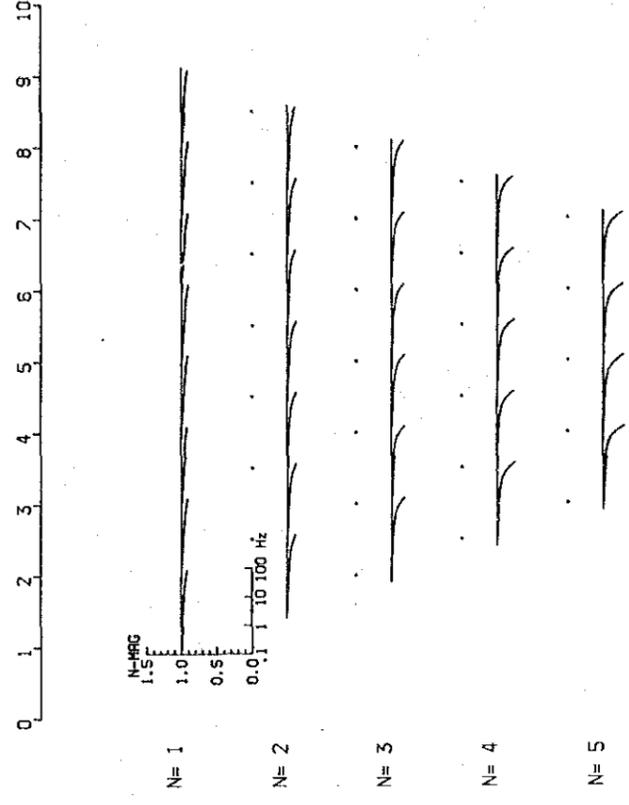


Diagrama Cole-Cole

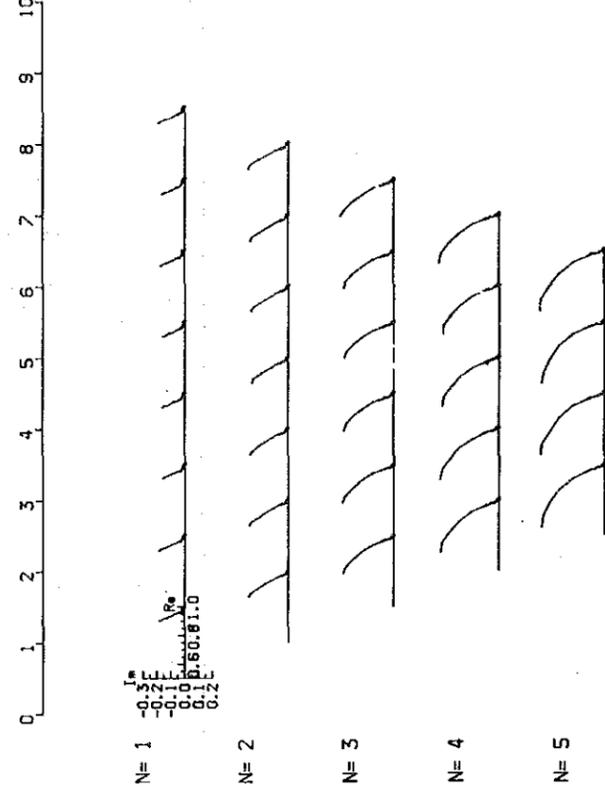
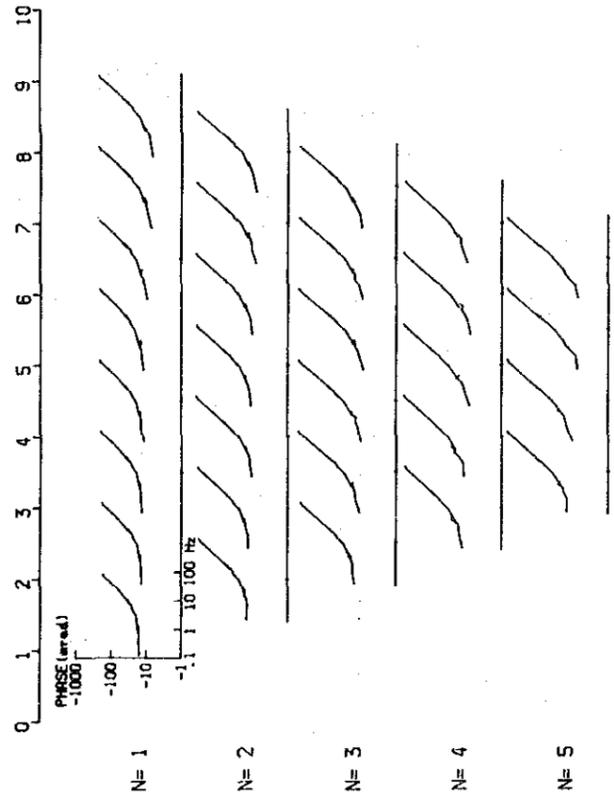


Fig. 1-35 Espectro de fase, magnitud y diagrama Cole-Cole (Sector I)

PERFIL F Espectro de fase



Espectro de magnitud

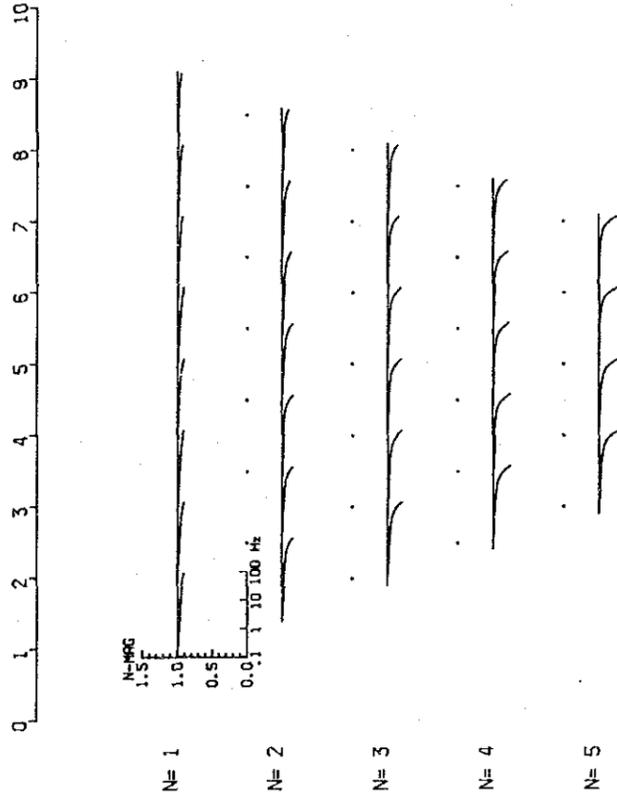
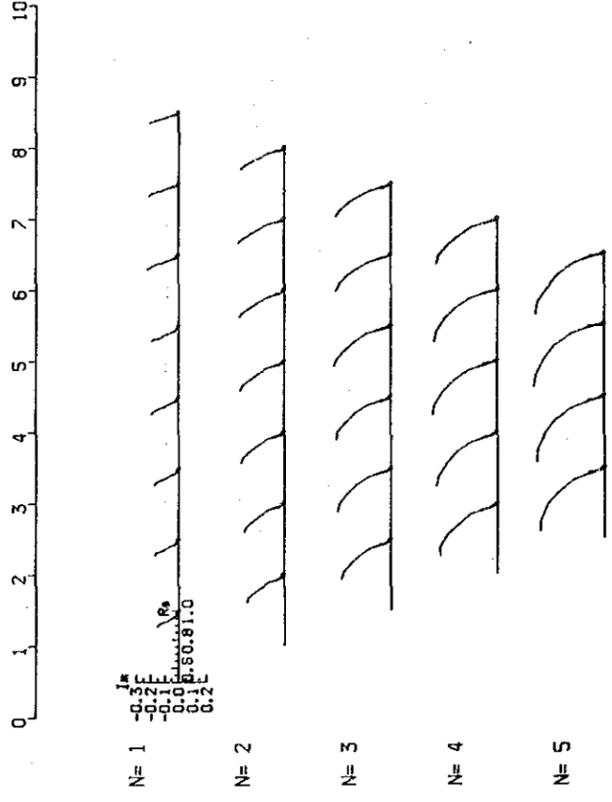
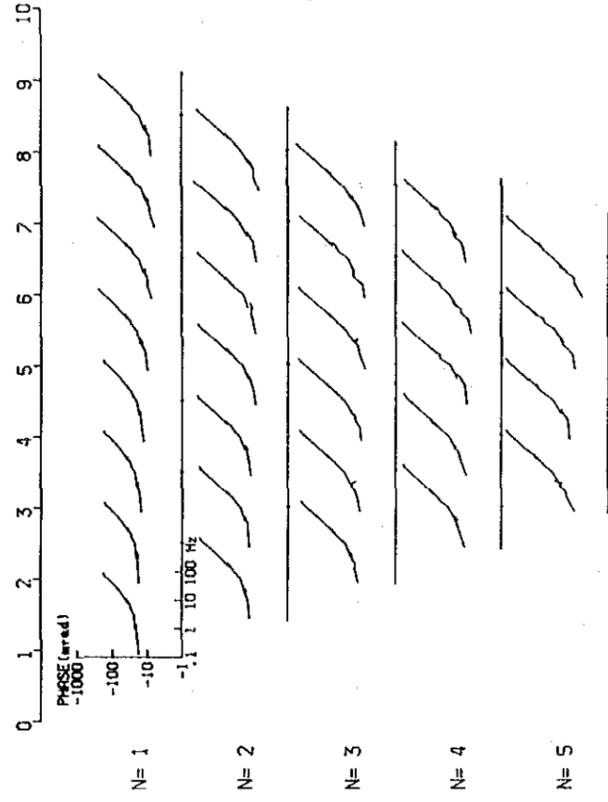


Diagrama Cole-Cole



PERFIL H Espectro de fase



Espectro de magnitud

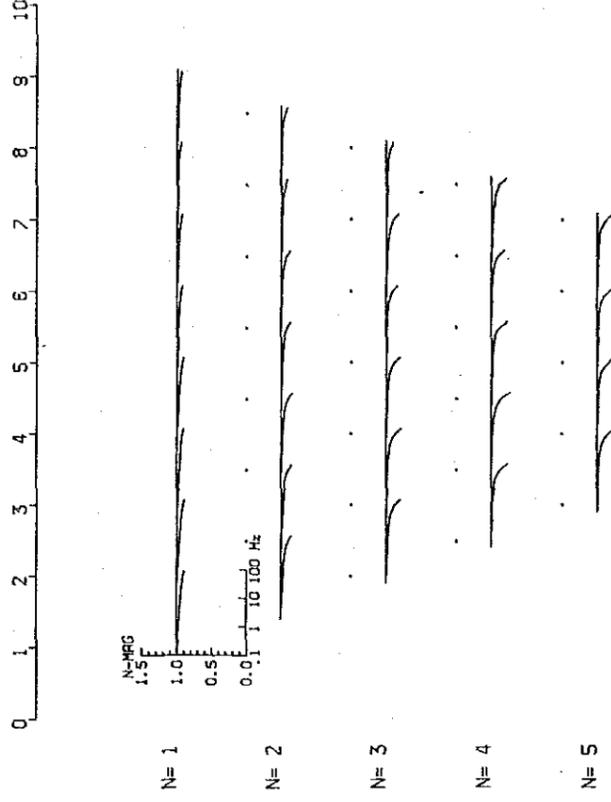


Diagrama Cole-Cole

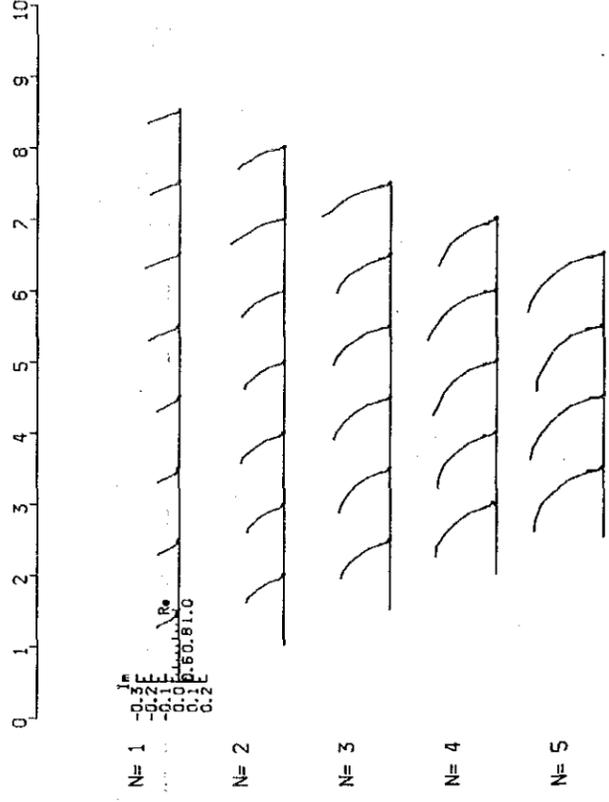
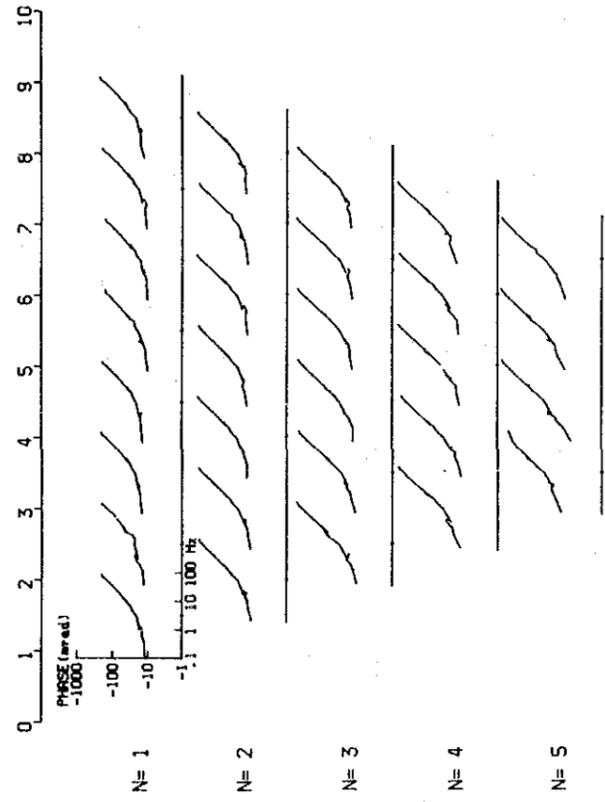


Fig. 1-36 Espectro de fase, magnitud y diagrama Cole-Cole (Sector I)

PERFIL I Espectro de fase



Espectro de magnitud

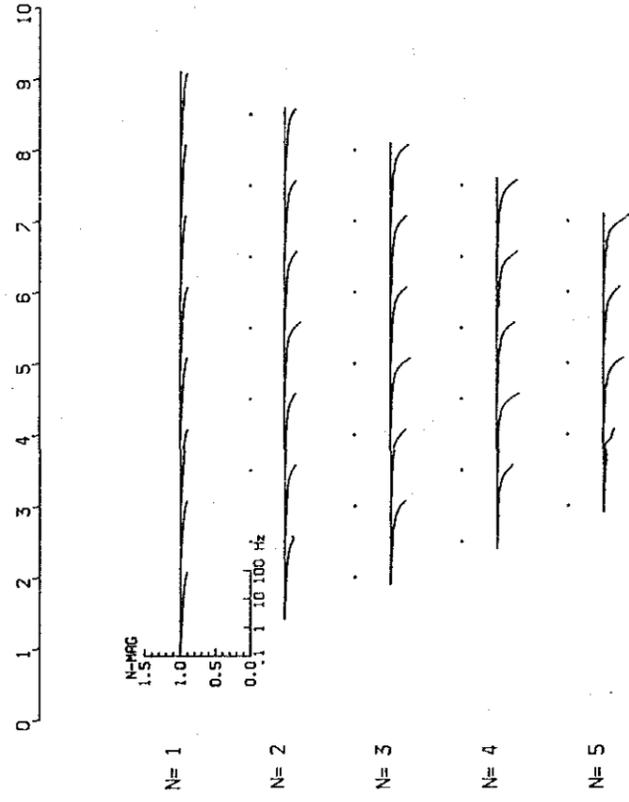
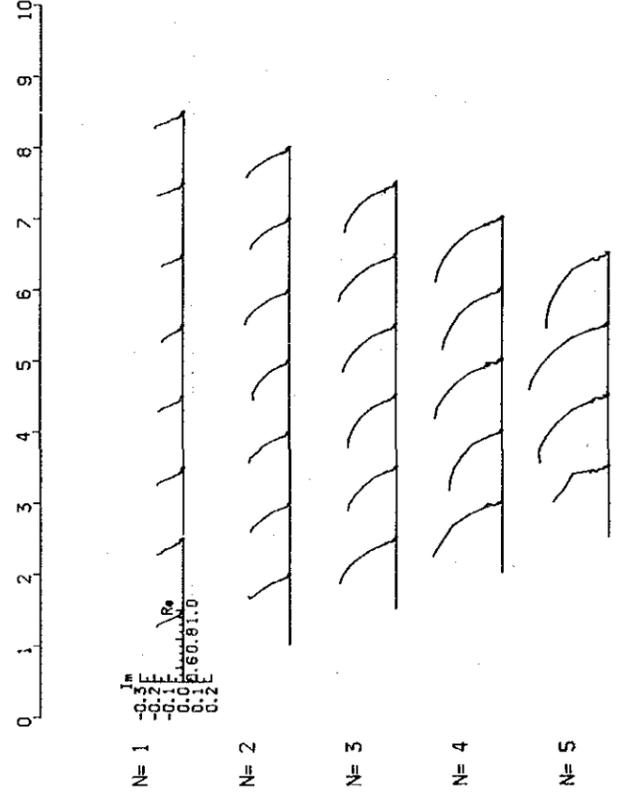
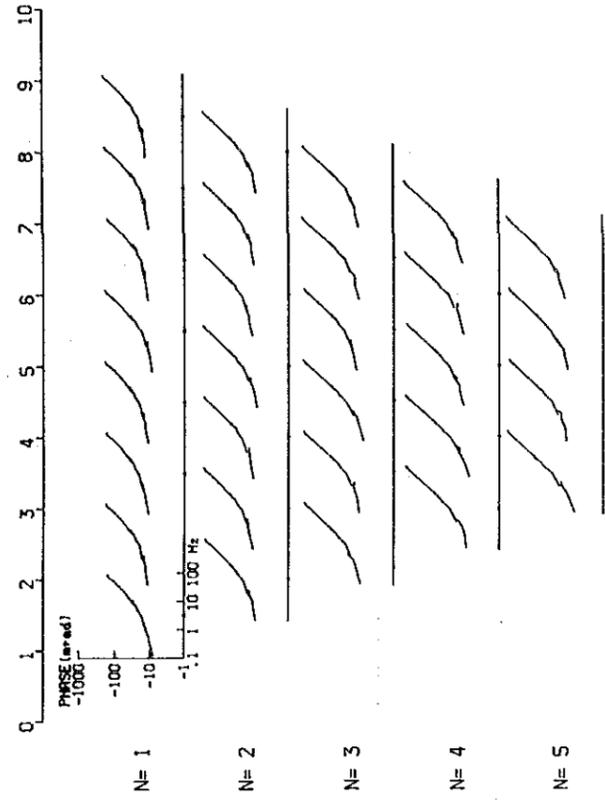


Diagrama Cole-Cole



PERFIL K Espectro de fase



Espectro de magnitud

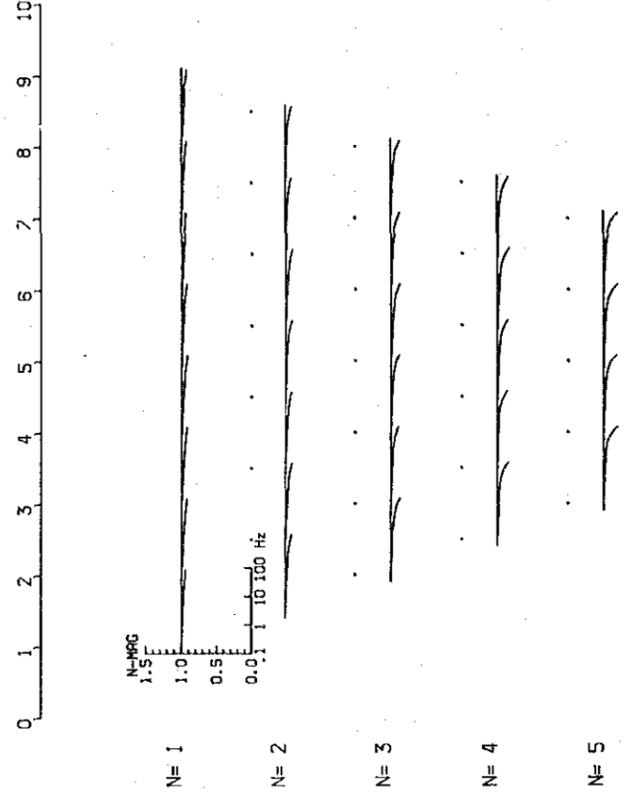


Diagrama Cole-Cole

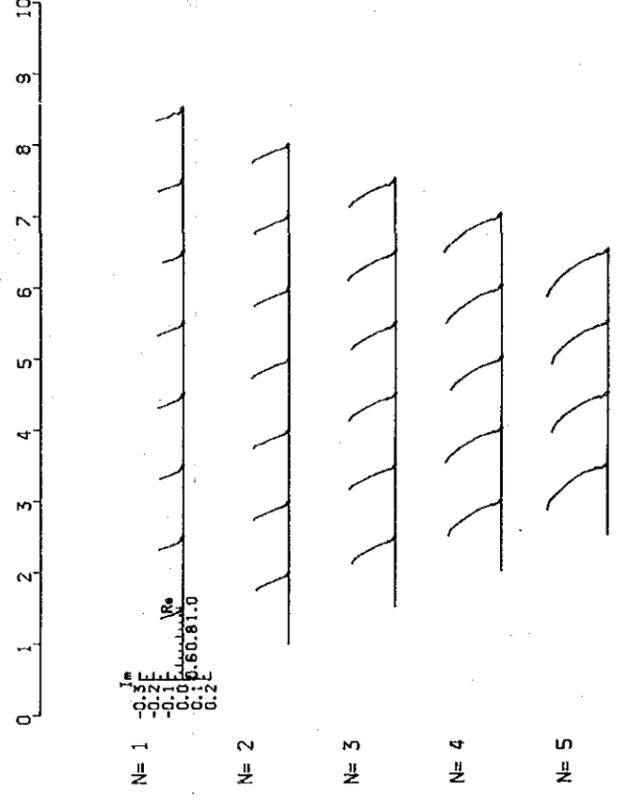


Fig. 1-37 Espectro de fase, magnitud y diagrama Cole-Cole (Sector II)



En los perfiles estudiados se obtuvieron valores negativos ( parte imaginaria ) con respecto a la disminución de frecuencia en diagrama Cole-Cole.

#### (4) Resultados del proceso de desacoplamiento.

Las pseudosecciones de desacoplamiento de fase se presentan en las Figs. 1-38 a 40. Los espectros de desacoplamiento de fase, magnitud y diagrama de Cole-Cole se presentan en las Figs. 1-41 a 43. La diferencia de fase de los perfiles estudiados, considerando 5 frecuencias en el desacoplamiento de fase, es similar en forma y valor a una onda principal ( 0.125 Hz ).

Como se mencionó, con anterioridad al proceso de desacoplamiento se observó una notable diferencia de fase, sin embargo, luego del proceso, esta tendencia desapareció. En profundidad para  $n=1$ , la diferencia de fase es casi constante, en cambio en los sectores de alta frecuencia (  $> 10\text{Hz}$  ), la diferencia de fase disminuye levemente.

En los espectros analizados, para profundidades mayores a  $n=2$ , las diferencias de fase aumentan proporcionalmente con las frecuencias.

Con respecto a los espectros de magnitud, éstos disminuyen levemente en relación al aumento de frecuencia en todos los perfiles estudiados, no observándose variaciones relativas a la profundidad.

Los diagramas Cole-Cole presentan un espectro horizontal, es decir, constante.

#### (5) Resultados de interpretación del modelo de simulación

Como se mencionó en el artículo 1.2.3.(1) los valores estadísticos de los resultados obtenidos por PEF en todos los perfiles analizados por PI y PIE dieron un valor promedio de 1.58% y una desviación standard  $S= 0.425$ . De acuerdo a estos valores se obtiene  $M + 2S=2,42\%$ , el cual corresponde al límite inferior del valor considerado anómalo.

Para la interpretación de la simulación se estudiaron los perfiles C, D, E, y L, los cuales presentan valores mayores a 2.5% de PEF, sin embargo, posteriormente se eligieron los perfiles C y D por presentar éstos, una densidad mayor de valores superiores al 2% de PEF. Los resultados de simulación se indican en la Figs. I-44 y I-45.





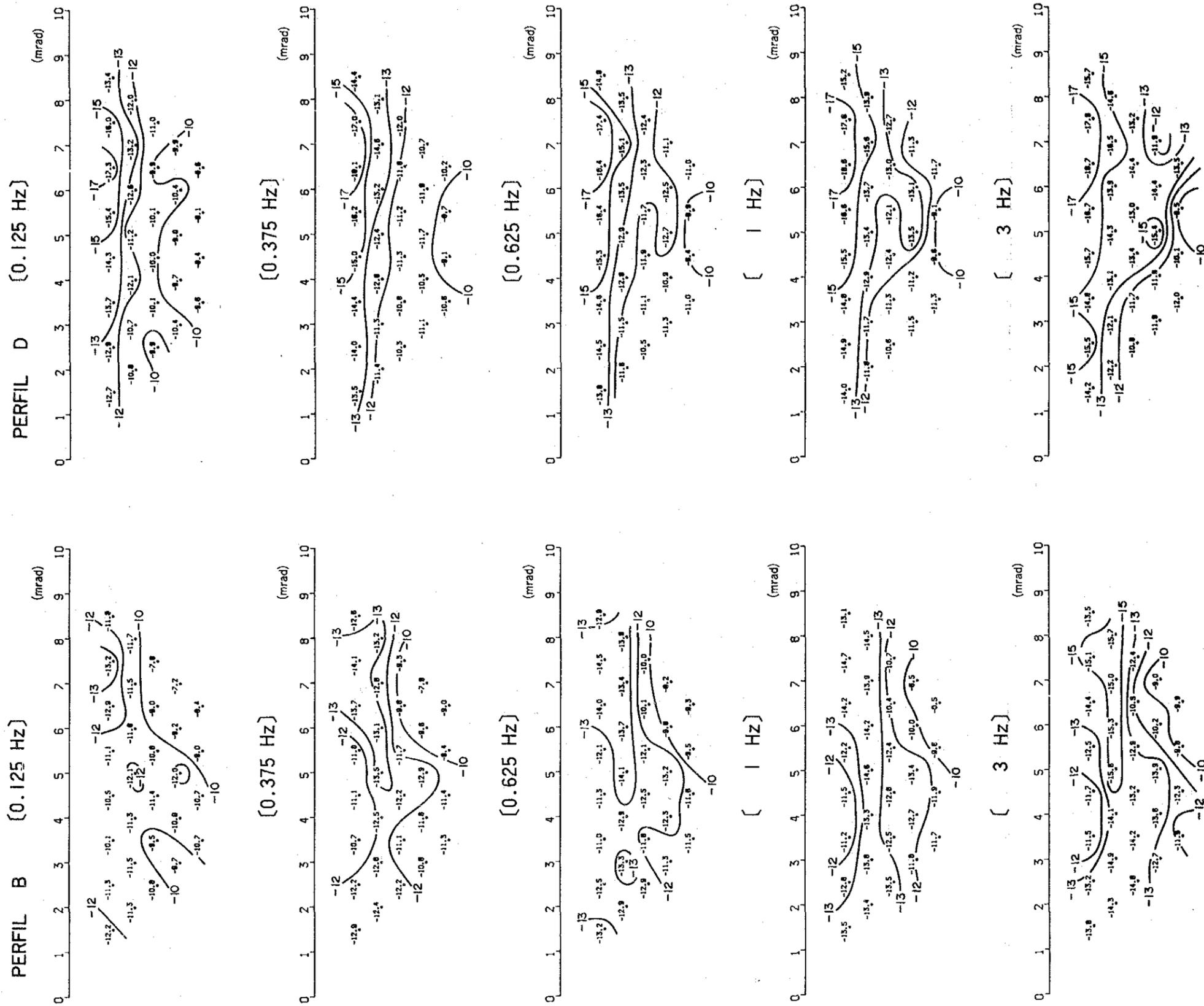


Fig. 1-38 Seudosecciones de desacoplamiento de fase (Sector I)

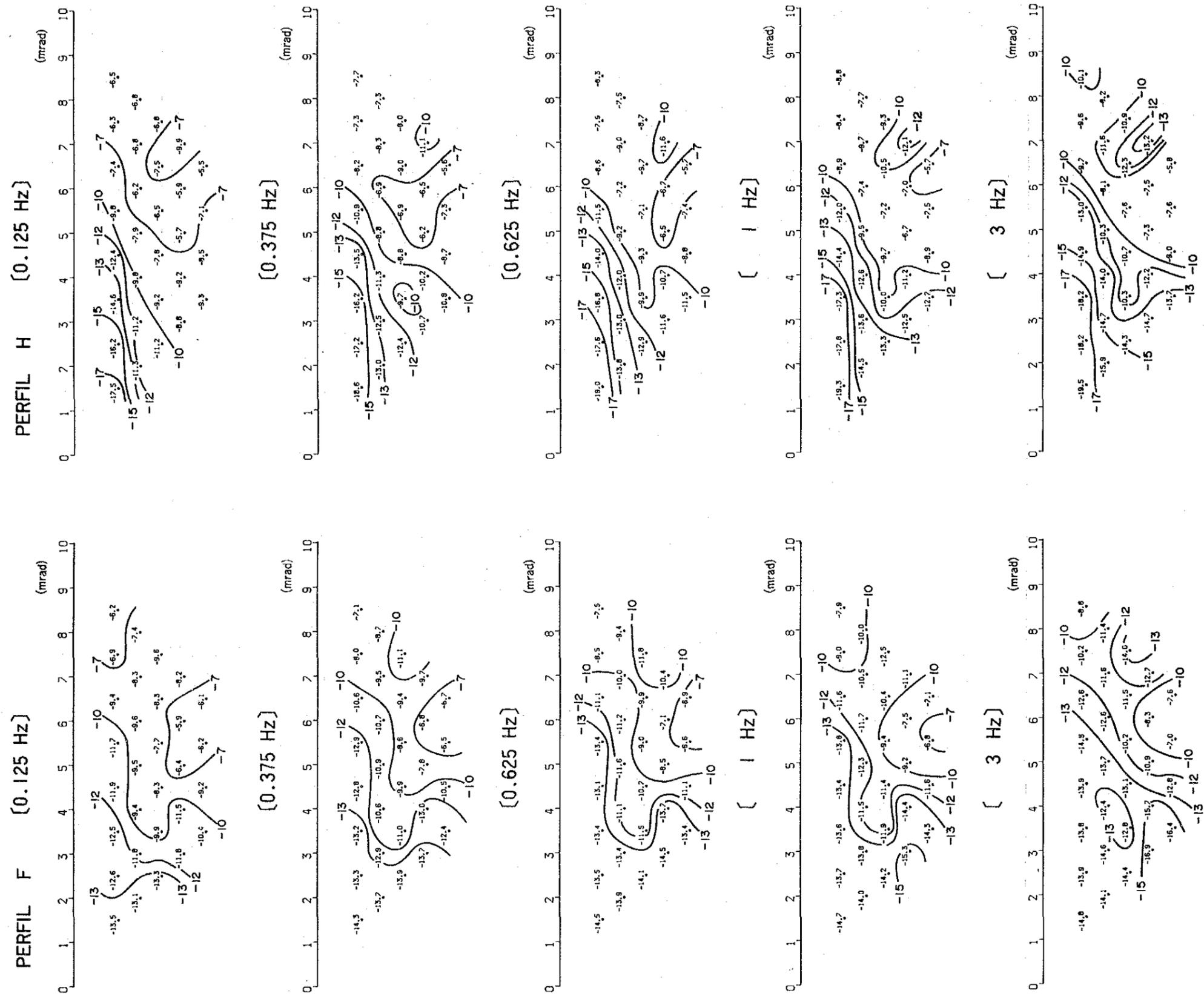
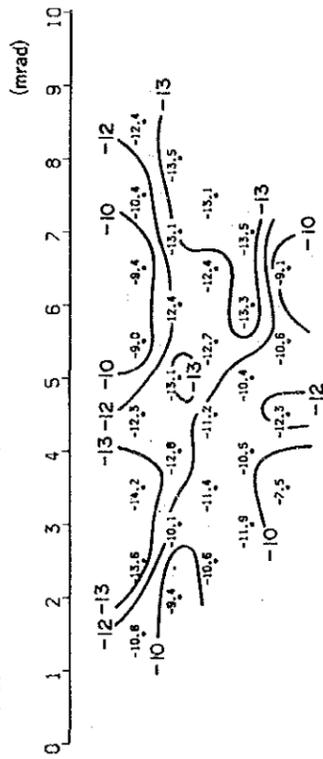
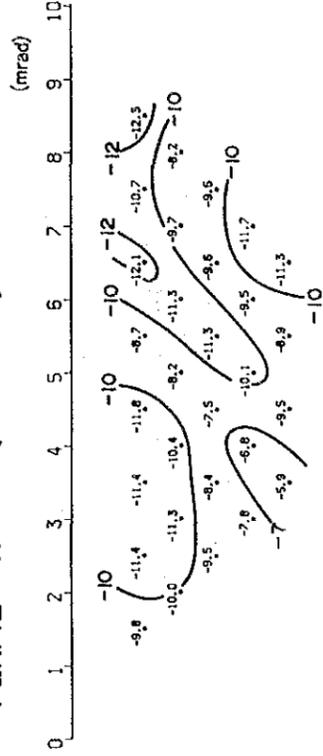


Fig. 1-39 Seudosecciones de desacoplamiento de fase (Sector I)

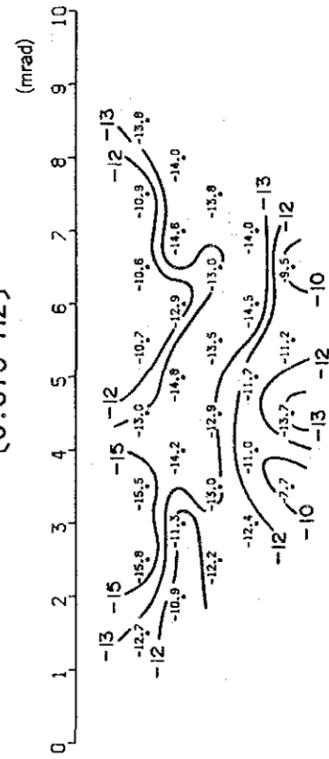
PERFIL I [0.125 Hz]



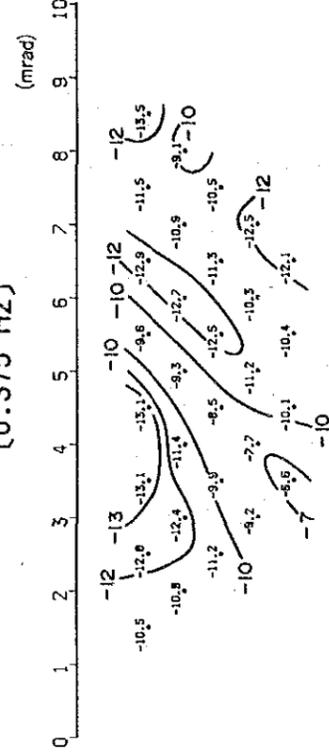
PERFIL K [0.125 Hz]



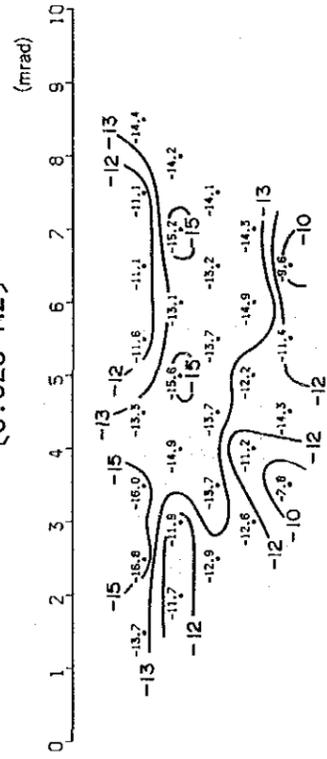
[0.375 Hz]



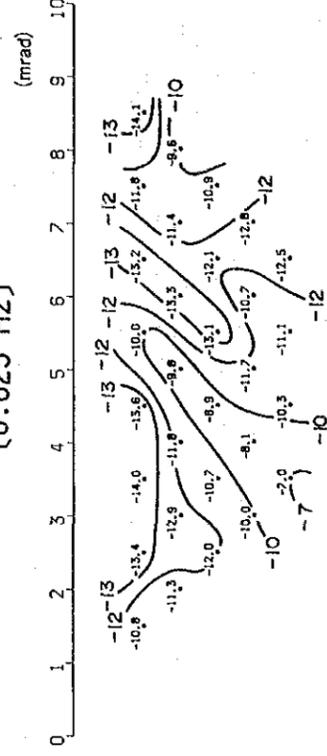
[0.375 Hz]



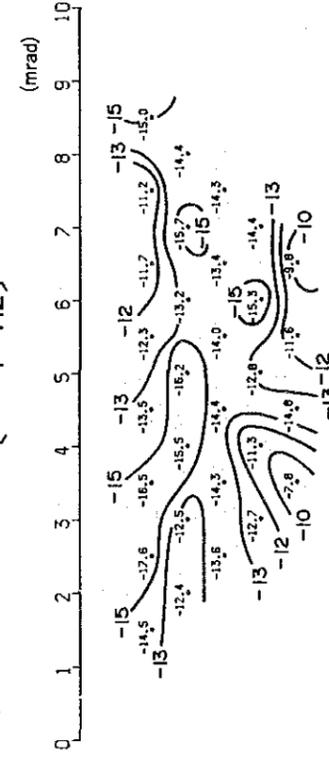
[0.625 Hz]



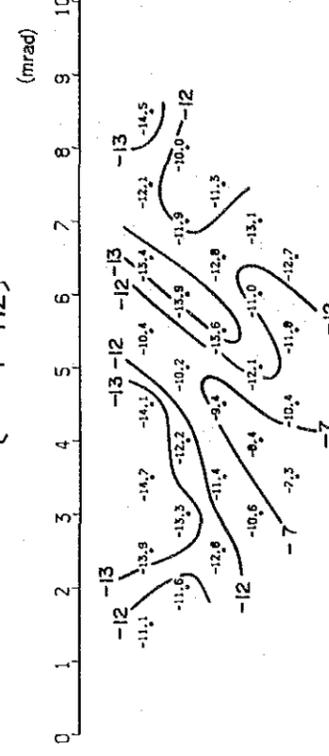
[0.625 Hz]



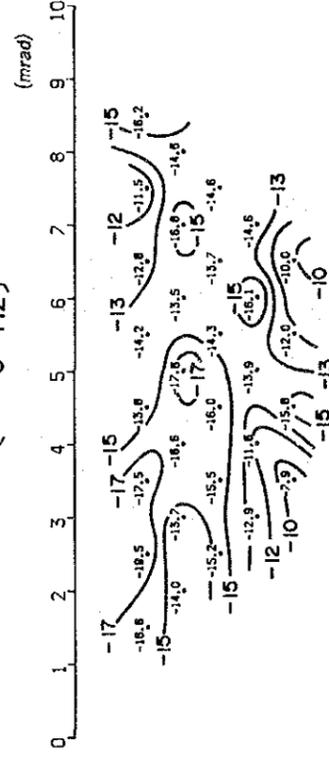
[ 1 Hz]



[ 1 Hz]



[ 3 Hz]



[ 3 Hz]

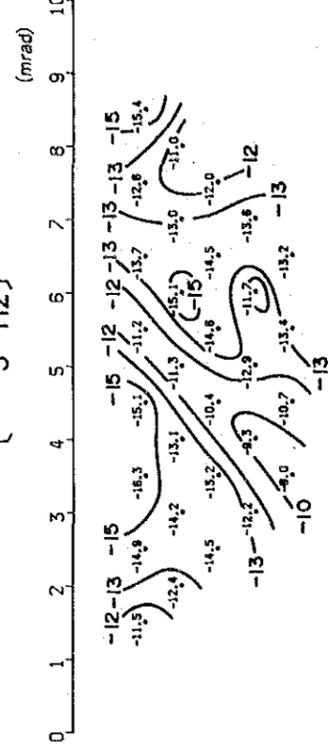
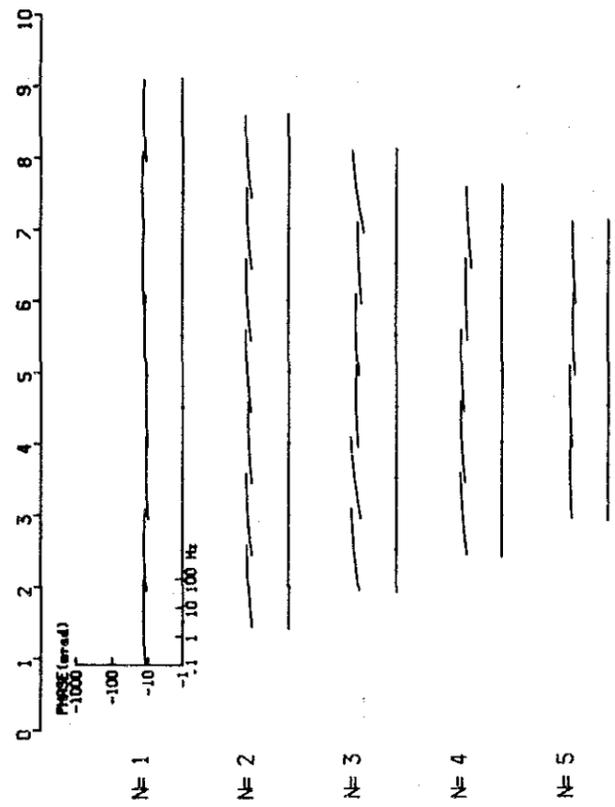


Fig. 1-40 Seudosecciones de desacoplamiento de fase (Sector I)

PERFIL B Espectro de fase



Espectro de magnitud

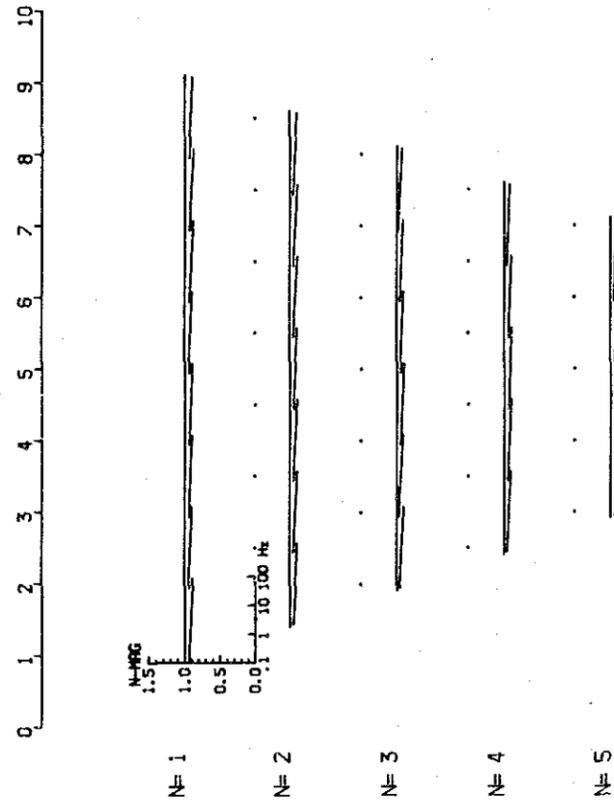
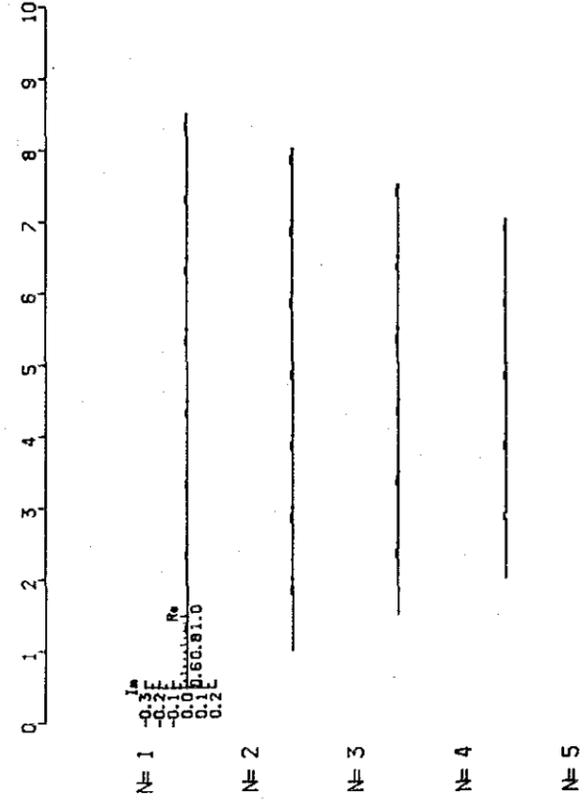
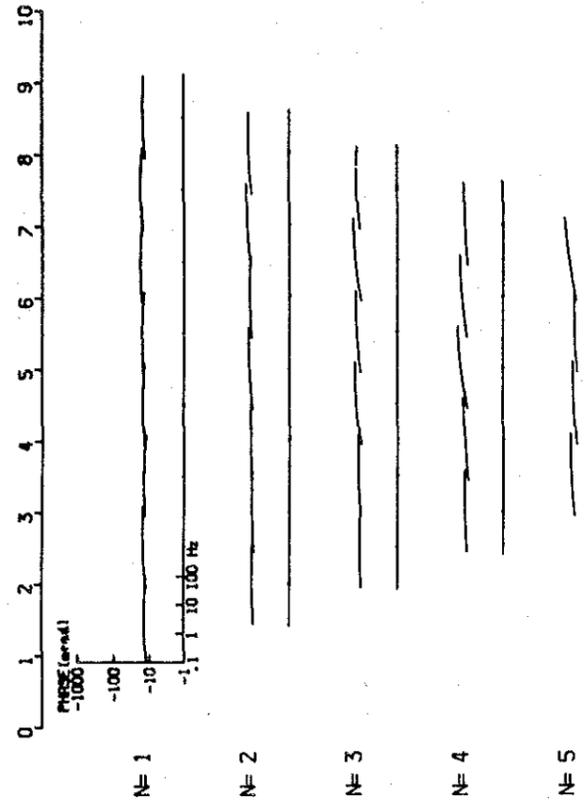


Diagrama Cole-Cole



PERFIL D Espectro de fase



Espectro de magnitud

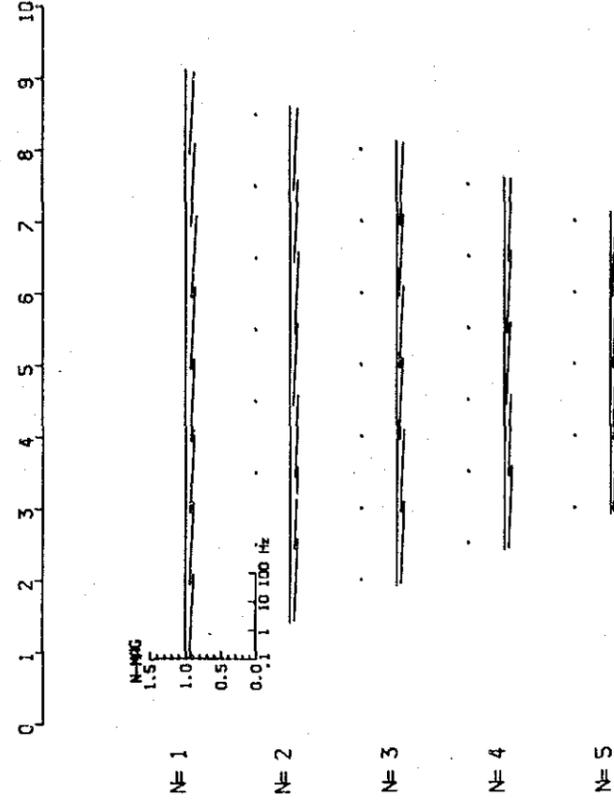


Diagrama Cole-Cole

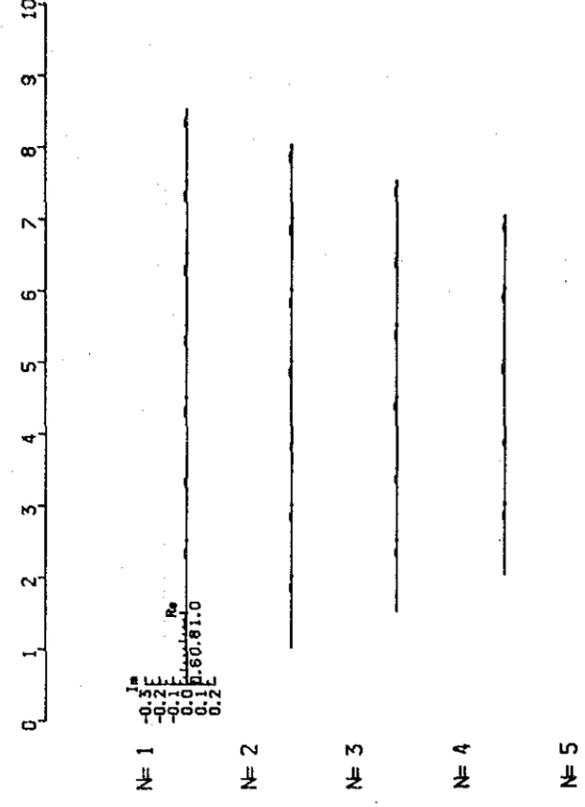
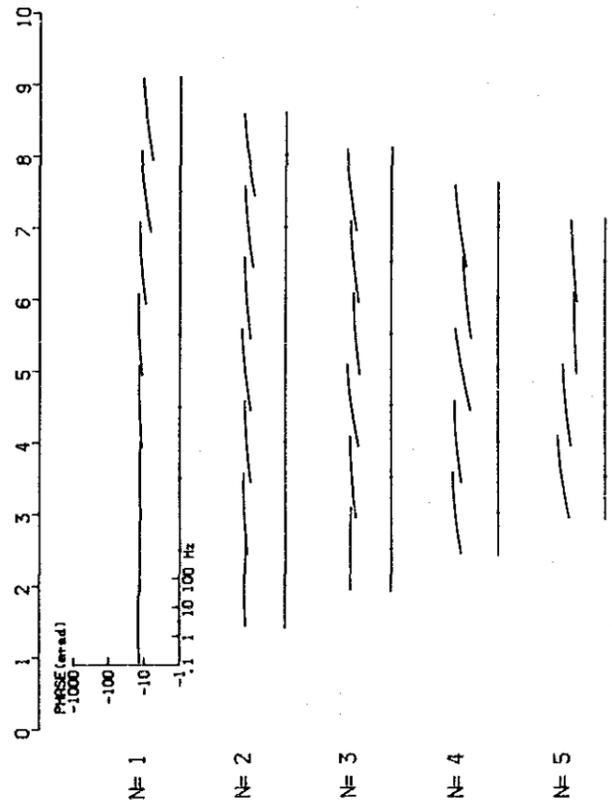


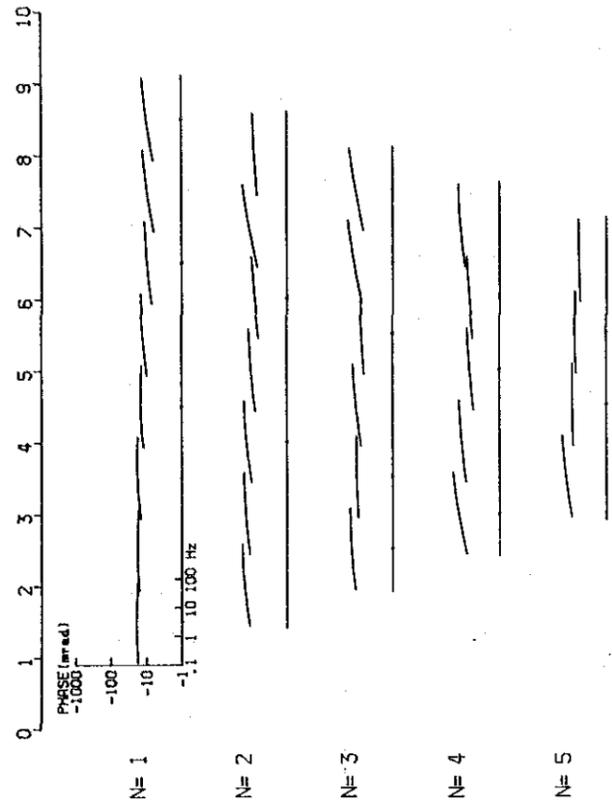
Fig. 1-41

Espectro de desacoplamiento de fase, magnitud y diagrama Cole-Cole (Sector I)

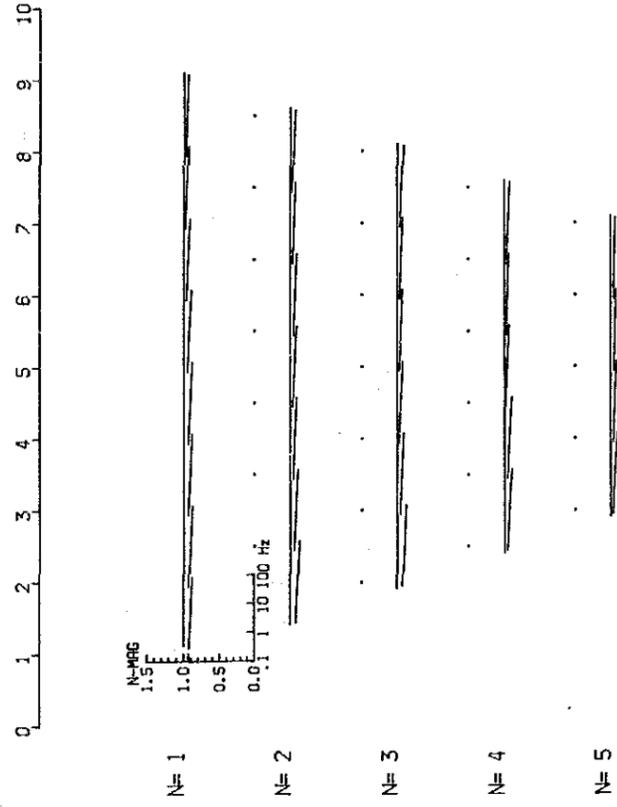
PERFIL F Espectro de fase



PERFIL H Espectro de fase



Espectro de magnitud



Espectro de magnitud

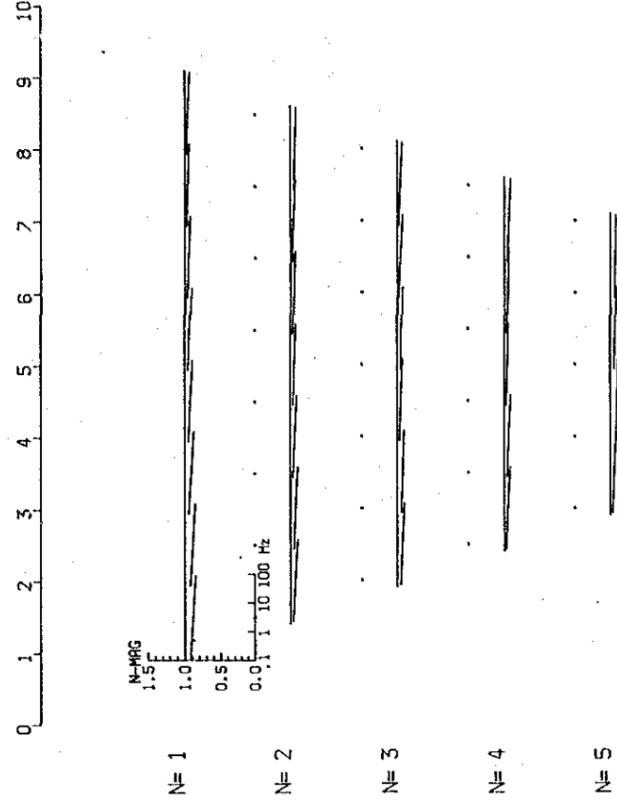


Diagrama Cole-Cole

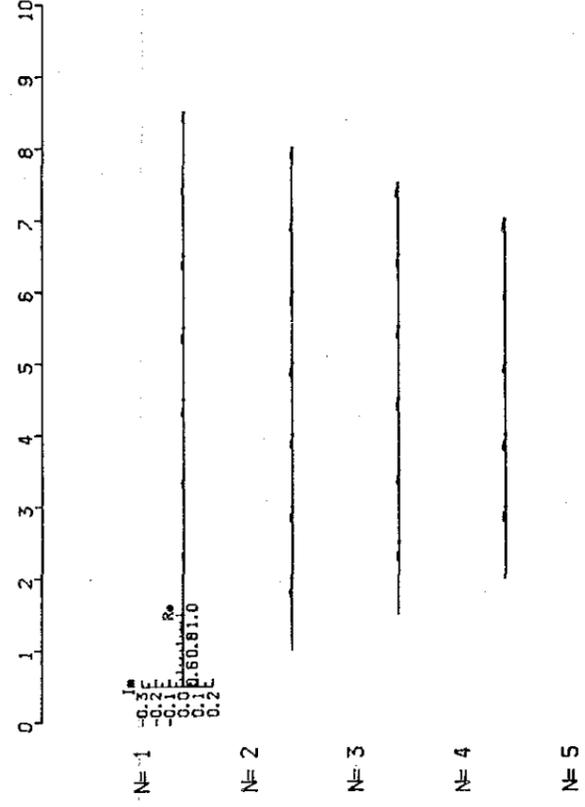


Diagrama Cole-Cole

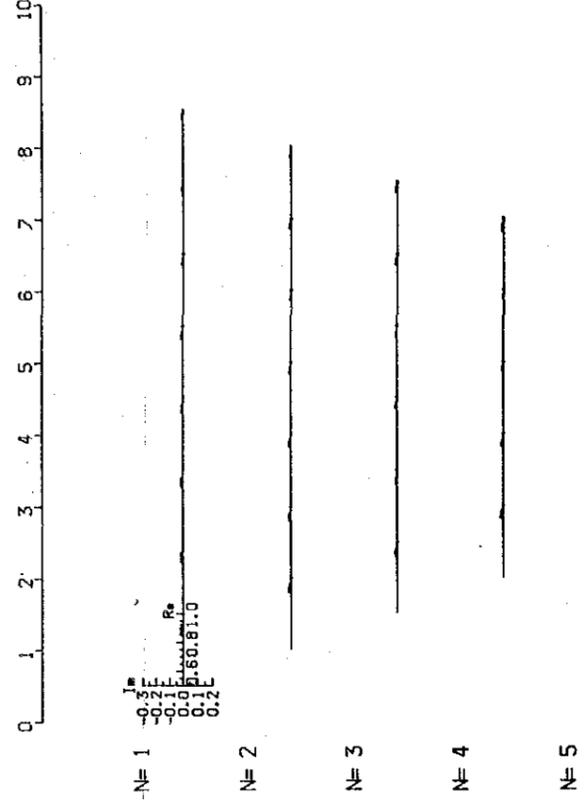
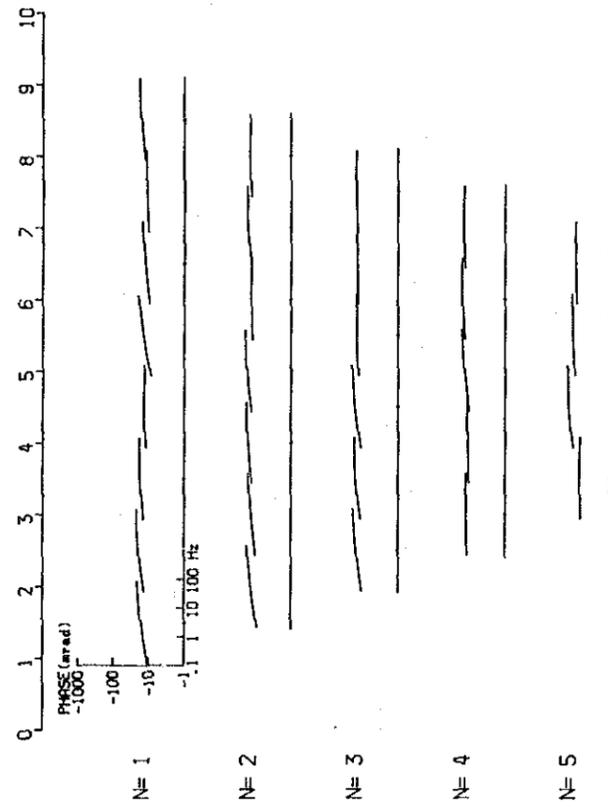


Fig. 1-42 Espectro de desacoplamientos de fase, magnitud y diagrama Cole-Cole (Sector II)

PERFIL I Espectro de fase



Espectro de magnitud

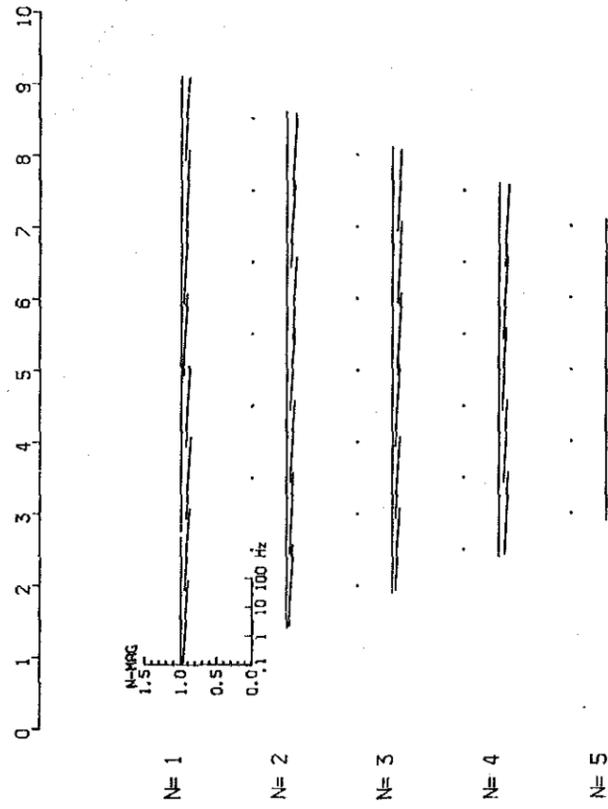
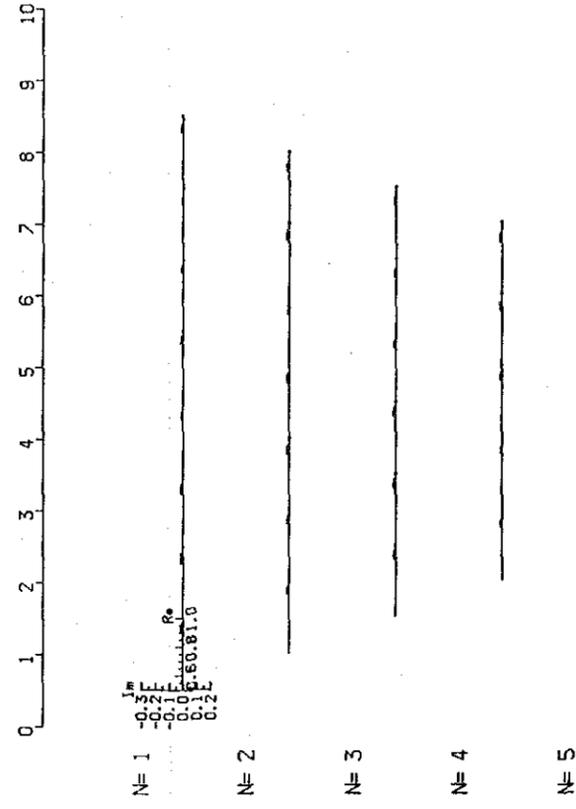
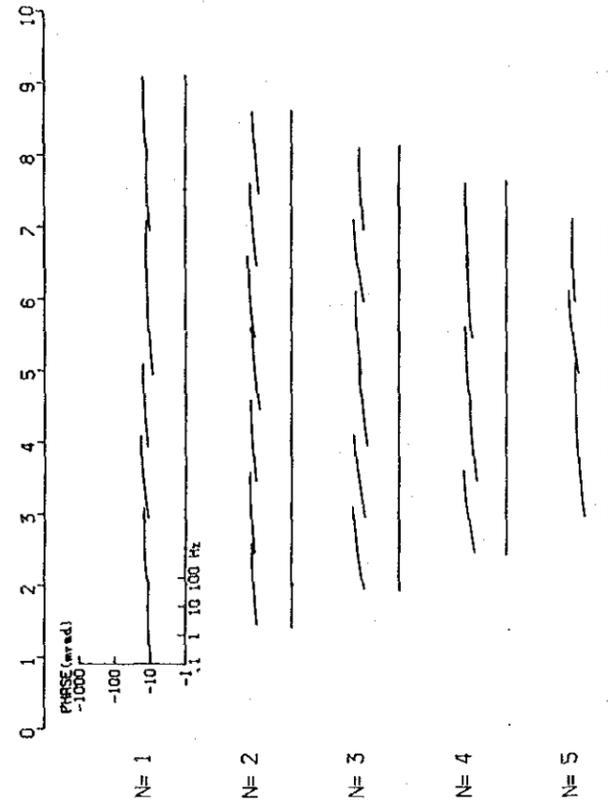


Diagrama Cole-Cole



PERFIL K Espectro de fase



Espectro de magnitud

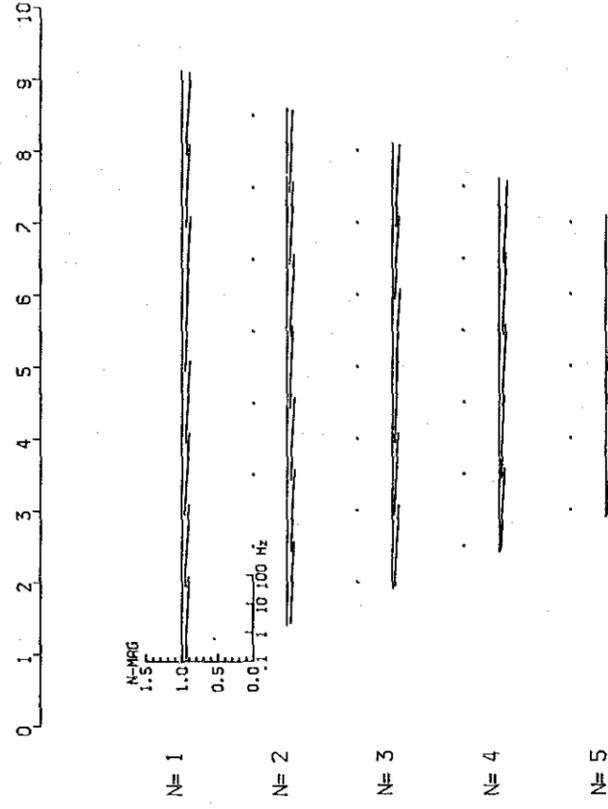


Diagrama Cole-Cole

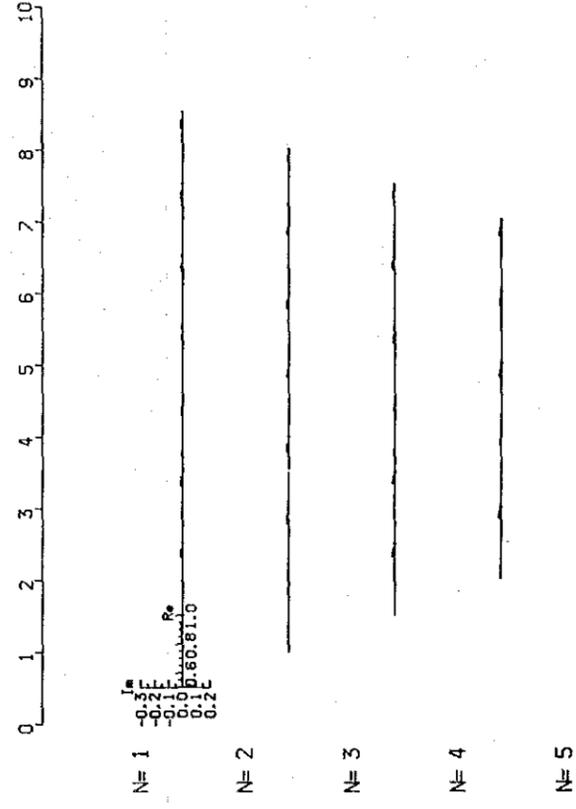


Fig. 1-43

Espectro de desacoplamiento de fase, magnitud y diagrama Cole-Cole (Sector I)



Perfil C (Fig. I-44) :

Este perfil presenta una anomalía fuerte de PEF de forma tabular en los sectores E y W, a baja profundidad (30-70m). A lo largo de todo el perfil y a una profundidad menor a 100m se observa una capa de baja resistividad, en cambio bajo esta profundidad (100m), se observa alta resistividad. Cabe destacar que la forma de PEF y RA obtenidos por simulación son similares a los obtenidos en terreno .

Perfil D (Fig. I-45 ) :

Cabe detectar que la forma de PEF y RA obtenidos por simulación son similares a los obtenidos en el perfil C. Es decir, este perfil presenta una anomalía fuerte de PEF en forma de una capa en los sectores central a este a baja profundidad (30-70m).

El RA de este perfil a una profundidad menor a 100m se observó una capa de baja resistividad con valores comprendidos entre 15 ohm-m y 50 ohm-m. A profundidades mayores de 100m se reconoció una gruesa capa de alta resistividad (500 ohm-m).

(6) Resultados de pruebas en muestras de roca en laboratorio.

Se analizaron 41 muestras correspondientes a roca y vetas mineralizadas, en las cuales se hicieron mediciones de PIE, con el propósito de obtener espectros de fase, magnitud y características Cole-Cole, además de PEF y resistividad.

De un total de 41 muestras estudiadas, 26 de ellas corresponden a la mina Unión (15 muestras visibles mineralización), 11 a la mina Atahualpa ( 8 ) y las 4 restantes se ubican en diversos puntos del área (Fig. I-1). En las Tablas del apéndice y la Tabla I-3 se presentan los valores característicos de PIE para cada muestra estudiada. Los resultados de los análisis químicos de 24 muestras, relativos a Au, Ag, Cu, Pd, Zn y Fe, se presentan en la Tabla I-3.

El resumen de los resultados es el siguiente:

i) PFE

Muestras mineralizadas (24 muestras) : un valor promedio :

2,5% (de 0,5% a 11,6%)

Muestras de la zona de enriquecimiento secundario con



MODELO N° 01

CLAVE	RESISTIVIDAD	E.F.
	OHM-M	x
1	500.	1.5
2	50.	1.5
3	15.	1.5
4	50.	3.0
5	0.	0
6	0.	0
7	0.	0
8	0.	0
9	0.	0

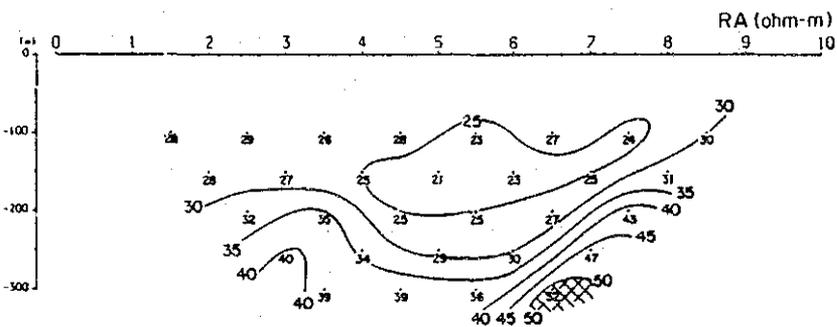
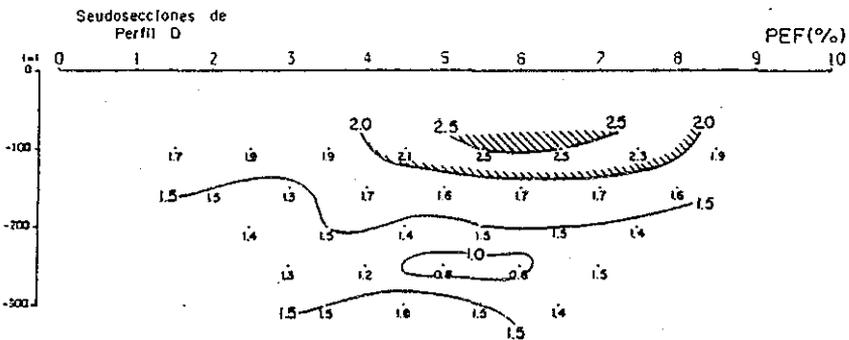
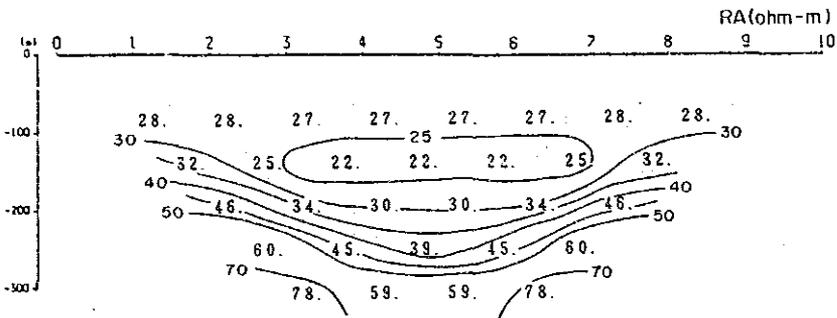
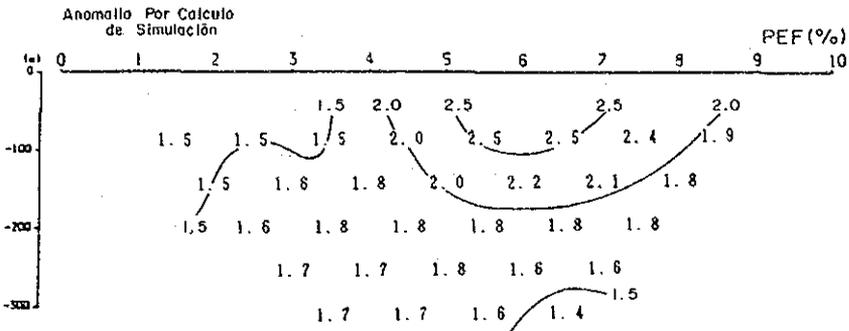
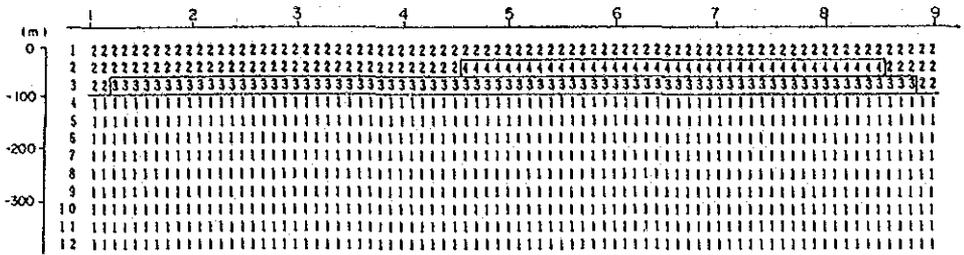


Fig. 1-45 Simulación por modelo del perfil D

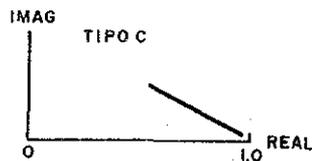
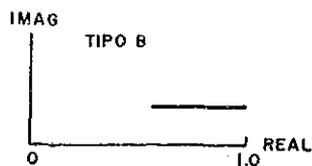
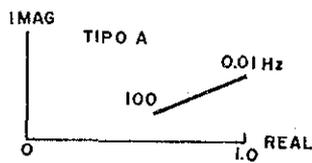
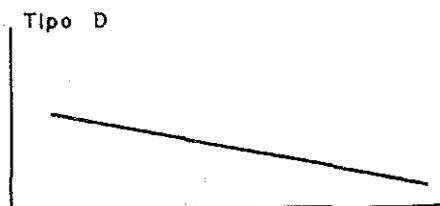
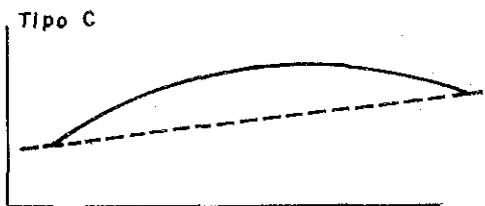
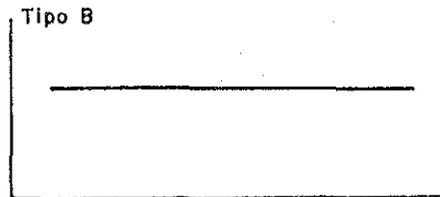
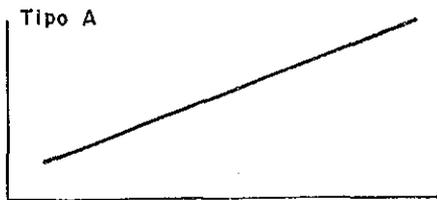


Fig. 1-46 Tipos de espectro de fase y diagrama de Cole-Cole en muestra de roca

Tabla I -3 Resultado de pruebas en muestras de roca en laboratorio

Nº M.	Ubicación	Roca	Fase (mrad)	P E F (%)	ρ (ohm-n)	Espectro		Análisis químicos							Observaciones	
						Fase	Col	Au(ppm)	Ag(ppm)	Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Fe(%)	S(%)		CuS(%)
1	niv.-100m, piq. 3.5, mina U.	Lutita	-23.8	3.2	2303	B	B	<20	130	2.30%	154	52	1.20	0.80	0.36	dis.cp
2	niv.-70m, piq. 3, mina U.	Lutita	-25.0	4.6	185	A	C	<20	120	3.00%	1.40%	0.13%	3.80	1.85	0.13	dis.cp con vil.cal.
3	id	Lutita	-22.2	3.6	339	A	C	<20	110	2.80%	0.33%	98	2.90	0.67	0.43	id
4	niv.-50m, piq. 3, mina U.	Limolita	-4.2	1.1	47	C	A	<20	0.21%	3.00%	580	0.22%	3.00	0.04	6.52	dis.cox con Ag mineral(?)
5	id	Limolita	-25.3	4.9	54	D	A	<20	0.31%	7.22%	560	300	1.50	0.03	6.58	id
6	id	Limolita	-12.0	2.2	60	C	B	<20	90	6.70%	460	0.13%	0.90	0.02	6.54	dis.cup(?)
7	niv.-75m, piq. 3, mina U.	Limolita	-79.1	9.8	401	B	A	<20	3.3	0.21%	17	43	0.22	0.02		dis.y vil.ep
8	id	Limolita	-76.0	11.6	415	C	A	<20	8.3	1.23%	0.13%	380	3.20	1.19		id
9	niv.-100m, piq. 2, mina U.	Arenisca	-18.4	3.0	1053	A	C	<20	58	1.86%	10	240	2.90	0.36		zona mineralizada débil
10	niv.-65m, piq. 3, mina U.	Limolita	-6.3	1.2	95	C	A	<20	66	5.07%	0.17%	0.29%	1.20	0.01	4.46	vil.cox
11	id	Limolita	-9.9	2.4	52	C	A	<20	50	4.23%	0.25%	0.23%	1.80	0.02	4.04	id
12	superficie, mina U.	Arenisca	-26.0	3.0	240	D	A	<20	10	100	15	840	4.60	0.01		sin mín.
13	id	Caliza	-7.7	1.0	1143	B	B	<20	1.5	44	79	120	0.22	0.03		id
14	id	Caliza	-3.0	0.4	243	B	B	<20	0.3	13	15	123	0.14	0.03		id
15	id	Caliza	-6.3	0.9	645	B	B	<20	0.5	34	24	148	0.80	0.05		id
16	id	Conglomerado	-4.6	0.8	48	C	A	<20	1.8	760	15	0.10%	2.20	0.01		id
17	id	Caliza	-2.9	0.5	483	B	B									id
18	id	Andesita	-1.9	0.3	359	A	B									id
19	id	Conglomerado	-3.0	0.9	76	C	B									id
20	id	Arenisca	-2.4	0.6	64	C	B									id
21	id	Conglomerado	-4.6	1.1	71	C	B									id
22	aflor. de mina U.	Arenisca	-6.0	0.8	372	A	B									vil.cox
23	id	Arenisca	-5.4	0.8	612	A	B									id
39	id	Caliza	-6.4	1.0	2181	B	B									stw.cox
40	superficie, mina U.	Arenisca	-22.7	3.9	195	B	B	<20	18	300	27	360	3.80	0.03		sin mín.
41	desmonte, mina U.	Lutita	-6.5	1.2	1058	B	B									dis.cox

N°	Roca	Fase (°)	P E F (%)	ρ (ohm-m)	Espectro fase Cole	Análisis químicos										Observaciones
						Au(ppm)	Ag(ppm)	Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Fe(%)	S(%)	CuS(%)			
24	superficie.mina A.	-8.9	2.0	31	C	<20	2.5	58	3	151	5.70	0.02		sin min.		
25	aflor. de mina A.	-4.8	0.7	657	A	<20	57	3.30%	3	113	<0.01	5.80	2.26	vll.cox en falla		
26	superficie.mina A.	-5.3	0.9	1155	A									sin min.		
28	desmonte del piq..mina A.	-5.2	2.2	134	A	<20	0.1	26	6	56	3.60	<0.01		dis.limonita		
29	id	-4.1	0.5	1318	A									stw.cox		
30	id	-10.9	1.7	151	A	<20	2.8	0.17%	520	560	4.30	1.10		dis.cp		
31	id	-7.4	1.2	256	B	<20	0.5	260	78	920	5.70	0.22		dis.pi		
32	id	-1.9	0.5	3004	A									stw.cox y vll.cal.		
33	superficie.mina A.	-6.2	0.8	1714	A									sin min.		
34	aflor.de un picado al este de mina A.	-6.6	0.9	741	B									stw.cox		
35	desmonte del piq. al este de mina A.	-5.1	0.7	2242	A									vll.cox y vll.cal.		
36	fuera de zona de min.	-11.4	1.7	3474	A									epidotización débil		
37	id	-8.4	1.1	877	A											
43	id	-16.5	2.5	737	A	<20	0.2	240	2	47	7.60	0.02				
45	id	-4.7	0.9	3372	A	<20	0.1	158	13	14	3.10	0.02		vll.cal.		

Abreviatura

A. : Atahualpa  
aflor. : afloramiento  
cal. : calcita  
cox : cobre oxidado  
cp : calcopirita  
cup : cuprita  
CuS : cobre soluble  
dis. : disseminación  
min. : mineralización  
M. : muestra  
niv. : nivel  
pi : pirita  
piq. : pique  
stw. : stockwork  
U. : Unión  
vll. : vetilla

minerales de sulfuros de cobre, cuprita(?) y cobre nativo(?) (10 muestras) : 4,4%(1,1% a 11,6%)  
 Muestras de la zona de lixiviación con oxidados de cobre, limonita y calcita (14 muestras) : 1,2%(0,5% a 2,4%)  
 Muestras sin mineralización (17 muestras) : 1,3%(0,3% a 3,9%)

ii) RA (expresados en logaritmo)

muestras mineralizadas : 354 ohm-m  
 muestras de la zona de enriquecimiento secundario: 207 ohm-m  
 muestras de la zona de lixiviación : 520 ohm-m  
 muestras sin mineralización : 196 ohm-m  
 Andesita : 780 ohm-m (9 muestras)  
 Caliza : 720 ohm-m (5 muestras)  
 Arenisca : 270 ohm-m (7 muestras)  
 Conglomerado : 50 ohm-m (4 muestras)  
 Lutita : 1040 ohm-m (7 muestras)  
 Lutita arenosa : 120 ohm-m (8 muestras)  
 Dacita : 3370 ohm-m (1 muestra)

iii) Comparación entre PEI y los valores de análisis químicos.

En la siguiente tabla se indica un valor de coeficiente de correlación por tratamiento estadístico entre PEF y los valores de análisis químicos de 24 muestras.

Los valores de esta tabla están expresados en logaritmo, con excepción de los valores de PEF, Fe y S que corresponden a los de parte izquierda de diagonal de la tabla.

	PFE	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	S
PFE		0.332	0.380	0.322	-0.014	0.347	0.171
Ag	0.187		0.870	0.593	0.489	-0.076	0.307
Cu	0.280	0.870		0.647	0.441	-0.075	0.425
Pb	0.258	0.593	0.647		0.578	0.204	0.308
Zn	-0.091	0.489	0.441	0.578		0.217	-0.025
Fe	0.002	-0.264	-0.233	-0.159	0.037		-0.235
S	-0.000	0.213	0.323	-0.033	-0.068	-0.204	

Se puede señalar los siguientes puntos en base de los resultados mencionados arriba ;

- ⓪ Los valores de Ag están en correlación positiva con los

de Cu, lo cual está bien expresado el caracter de mineralización del área.

② En general los elementos químicos y PEF no están en correlación ,sin embargo los valores de Ag,Cu,Pb y Fe están en correlación positiva débilmente.

③ Existe una diferencia clara entre PEF de muestras mineralizadas y de muestras sin mineralización.

④ Las muestras de la zona de enriquecimiento secundario de cobre (20m a 100m de profundidad) presentan relativamente alto PEF. Los minerales principales que se presentan en esta zona, son oxidados de cobre, limonita, calcocina, calcopirita, con pequeña cantidad de cuprita, cobre nativo, mineral de plata y piritita, etc. estos minerales presentan en forma diseminada, de conjunto de vetillas, y de stockwork. Esta combinación de minerales y ocurrencia de minerales habrían producido un fenómeno de PI.

⑤ Los valores de PEF de la zona de lixiviación que consiste en oxidados de cobre y limonita son similares a los de la zona sin mineralización.

⑥ debido a que las muestras de la mina Atahualpa fueron tomado en la zona de lixiviación superficial, los valores de PEF son bajos.

#### 1.2.4. Conclusiones del estudio geofísico

Los resultados integrados en base de la medición efectuada en terreno, de la interpretación del modelo de simulación y de las pruebas en muestras de roca en laboratorio, son los siguientes ;

① El 3,5% de PEF por simulación del perfil C es similar al valor promedio de la zona de enriquecimiento de la mina Unión.

② La anomalía en profundidad baja y en forma tabular casi horizontal indicaría la existencia de una zona de diseminación horizontal o de un fuente de PI de diferente a yacimiento metálico.

③ Los espectros obtenidos de los perfiles B y D, colindados con el perfil C no muestran forma clara, lo cual permitiría pensar que esta fuente de anomalía de PI no tendría fuerte fenómeno de PI.

Lo cual no significa la ausencia de yacimiento, de acuerdo a la forma no clara de los espectros obtenidos por pruebas en muestras mineralizadas de la mina Unión.







### 1.3. Exploración mediante sondaje en el área No.22-23

#### 1.3.1. Objetivos de trabajo

Como se indicó en el capítulo anterior, se captaron las anomalías de PI en las partes profundas entre las estaciones 3 y 4, y las 7 y 9 del perfil C del estudio geofísico.

Para comprobar estas anomalías de PI se efectuaron 3 sondajes a lo largo del perfil.

#### 1.3.2. Métodos, equipos utilizados y trabajos realizados de los sondajes

##### (1) Método de perforación

El nivel de gravas se perforó con el sistema de "Wire-line" de diamante tipo NQ, luego fue expandida la misma parte antes perforada con brocas de tricono de  $4\frac{3}{4}$ " y  $3\frac{7}{8}$ " porque la consolidación es muy baja y especialmente en profundidad entre 50m y 60m con gravas de fragmentos duros y matriz de arenas muy blandas. Luego se instalaron tuberías de casing de tipo HW y NW.

En el nivel más profundo entre 50m a 60m, en donde se aumentó la consolidación y disminuyó el derrumbe, se perforó con el sistema de "Wire line" de diamante de tipo NQ con recuperación de testigo.

Se utilizó CMC y "Sea-Clay" para proteger la parte derrumbada constituida por gravas no consolidadas de 0m a 50m de profundidad, y ribonita para la parte más profunda a 50m a 60m.

En la Fig. II-1 se señala el método de perforación.

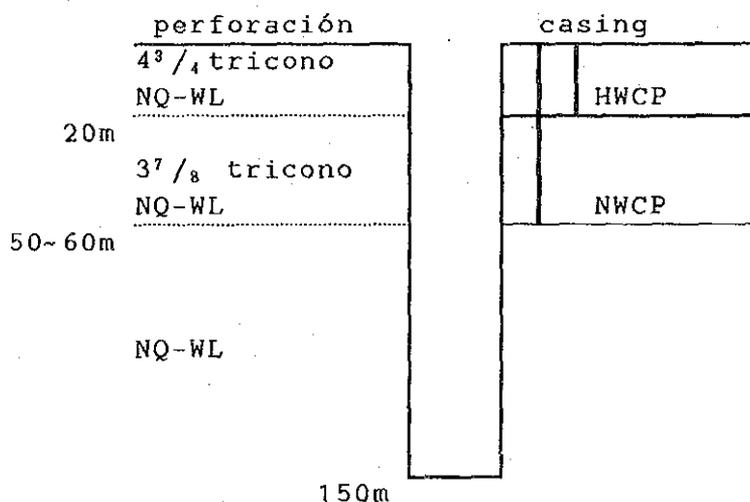


Fig. II-1 Método de perforación

(2) Equipos de sondaje

Los tipos y especificaciones de maquinaria y bomba se indica en la Tabla 5 del apendice, y los insumos utilizados aparece en la Tabla 7 del apendice, y las brocas de diamante están en la Tabla 6 del apendice.

(3) Trabajos realizados

i) Ubicación de los sondajes

En la Tabla I-1 y Fig. I-2 se indican la ubicación, orientación e inclinación de los sondajes perforados.

Tabla I-1 Ubicación, orientación e inclinación de los sondajes

Sondaje	Latitud(m)	Longitud(m)	Cota(m)	Azimut	Inclinación
MJC-16	7.164.365	364.155	754	257°00'	-60°
MJC-17	7.164.350	364.095	752	257°00'	-60°
MJC-18	7.164.270	363.700	735	257°00'	-60°

ii) El resumen de los sondajes se indica en la Tabla I-2.

Tabla I-2 Resumen del trabajo mediante sondajes en el area No. 22-23

Nº Sondaje	Prof. en programa (m)	Prof. real izado (m)	Nivel de gravas (m)	Longitud de testigo (m)	Rendimiento (%)	Periodo de perfor.
MJC-16	150	150,50	104,40	91,50	98,0	28/agt. a 2/sep.
MJC-17	150	150,50	104,60	91,00	94,3	13/sep. a 18/sep.
MJC-18	150	150,50	113,80	86,80	92,8	5/sep. a 10/sep.

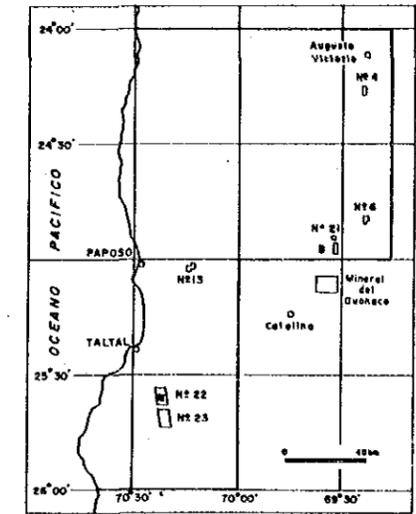
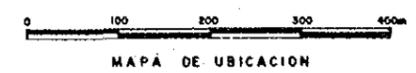
ii) Sistema de trabajo

El trabajo realizado se detalla en la Tabla 8 del apendice, y el desarrollo de cada sondaje en las Tablas 22 a 24 del apendice, los resultados de la perforación en las Tablas 14 a 16 y el calendario de los trabajos de perforación en las Figs. 7 a 9 del apendice.



ESTUDIO GEOLOGICO DE EXPLORACION MINERA  
AL SUR DE ANTOFAGASTA EN LA REPUBLICA DE CHILE

UBICACION DE SONDAJE  
AREA N° 22-23



- ← ○ SONDAJE
- A ——— PERFIL GEOFISICO
- ← ——— QUEBRADA SECA
- 750 ——— CURVA DE NIVEL
- 63 ——— COORDENADAS U.T.M.  
(Origen Datum Provisorio Sudamericano  
La Conna, Venezuela 1956)
- 797 x ——— COTA DE ALTURA  
SOBRE NIVEL MEDIO DEL MAR

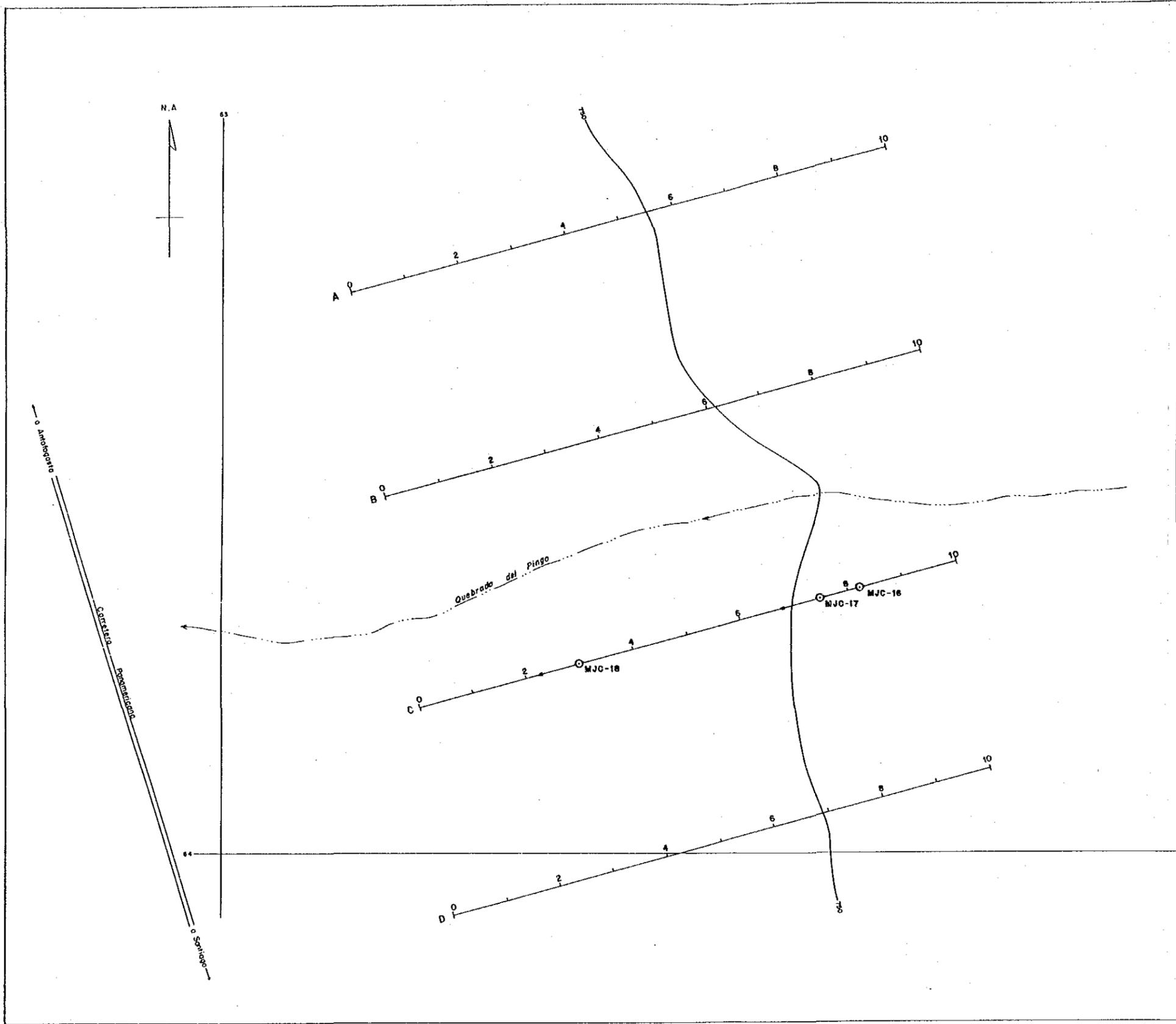


Fig. I -2 Ubicación de sondajes,  
área No.22-23



El rendimiento promedio en este área fue de 9,0m por turno, y la recuperación promedio de testigos fue un 95,0%, excepto en el suelo superficial y en las gravas donde se usaron las brocas de tipo tricono.

El transporte por tierra dentro del país, de los equipos y materiales para la perforación se realizó en dos camiones grandes, y se usaron camionetas para el traslado entre sondajes. El agua que se necesitó para los trabajos de perforación se compró en la oficina municipal de servicios de la Ciudad de Taltal a unos 25km de distancia. El transporte se hizo en un camion aljibe de 10m<sup>3</sup> de capacidad.

Los testigos se guardaron en una bodega del SERNAGEOMIN en Antofagasta y se entregaron a la institución contraparte.

### 1.3.3. Condiciones de perforación

Las condiciones de perforación por cada sondaje se detallan a continuación :

#### (1) Sondaje MJC-16

0 ~ 19m : el nivel de gravas duras con rellenos de arenas blandas se perforó combinando una broca tipo tricono de 4<sup>3</sup>/<sub>4</sub> " con NQ-WL.

Hasta la profundidad de 4m se usó una broca de tipo tricono de 4<sup>3</sup>/<sub>4</sub> y barros de bentonita colocándose temporalmente tuberías de tipo HW. Luego, la perforación se continuó con una broca de tipo NQ-WL hasta llegar a 19m de profundidad. Finalmente hasta esta profundidad la abertura de sondaje ya perforada se aumentó usando una broca tricono de tipo 4<sup>3</sup>/<sub>4</sub>, de nuevo, extendiéndose e instalándose tuberías de casing tipo HW hasta los 19m de profundidad.

19 ~ 57,1m : dado que los estratos de gravas similares a los anteriores continuaron, se perforó con una broca de tricono de tipo 3<sup>7</sup>/<sub>8</sub> hasta 22,1m y se instaló temporalmente tuberías de casing de tipo NW. Luego hasta llegar a los 57,1m se perforó con una broca de tipo NQ-WL y finalmente se aumentó el diámetro del sondaje usando la broca tricono de 3<sup>7</sup>/<sub>8</sub> de nuevo, extendiéndose e instalándose tuberías de casing de tipo NW hasta 57,1m de profundidad.

57,1 ~ 150,5m : se continuaron los estratos de gravas similares a los anteriores hasta 104,4m y aumentó el grado de

consolidación, por lo que se perforó con brocas de diamante tipo NQ-WL usando barros de ribonita para proteger las paredes del pozo. De 104,4m en adelante el sondaje cortó una capa de conglomerados duros, por lo tanto, no sufrió escapes serios de agua ni hubo problemas particulares.

(2) Sondaje MJC-17

0 ~ 15,6m : El mismo método que el anterior se usó ya que este sondaje constaba de las mismas litofacies y semejante naturaleza que las del sondaje MJC-16. Hasta la profundidad de 3 metros se perforó con una broca tipo tricono de 4-3/4", instalándose casing tipo HW. Luego, se usó una broca tipo NQ-WL hasta llegar a los 15,6m, y después se reperforó con una broca tipo tricono de 4-3/4" de nuevo se instaló casing de tipo HW.

15,6 ~ 54,0m : Usando barros de ribonita y con una broca tipo NQ-WL, se perforó hasta los 54,0m y se aumentó el diametro en la misma parte con una broca tipo tricono de 3-7/8" y se instaló casing de tipo NW.

54,0 ~ 150,5m : Desde los 54m de profundidad la consolidación de las gravas aumentó. Por ésta razon, se perforó con una broca tipo NQ-WL usando barros de ribonita hasta llegar a la profundidad mencionada. Desde 104,6m de profundidad se cortó estratos de conglomerados duros, por lo tanto, no se sufrió escapes serios de agua ni hubo problemas particulares de perforación.

(3) Sondaje MJC-18

0 ~ 15,1m : Semejantes a los dos sondajes anteriores en sus litofacies y naturaleza de roca. Se perforó hasta 6,1m con una broca de tipo tricono de 4-3/4" y se instaló casing de tipo HW. Luego, se perforó con una broca tipo NQ-WL hasta los 15,1m, y se expandió con la misma broca de tricono, instalando casing tipo HW.

15,1 ~ 57,0m : Se perforó con una broca tipo NQ-WL hasta los 57m de profundidad, luego se aumentó el diametro con una broca tipo tricono de 3-7/8" e instalandose casing de tipo NW.

57,0 ~ 150,0m : Desde los 54m de profundidad la consolidación de las gravas se aumentó bastante. Como consecuencia, se