

T&C THACSA
THARSIS CONSULT S. A.

PROYECTOS 10/77 Y 04/78

MINAS DE THARSIS (HUELVA)

Teléfono: 226133 (Huelva), y 1 de Tharsis

Teleg: THACSA HUELVA

Telex: 75517 COBRE E

INVESTIGACION GEOFISICA DE SULFUROS
MASIVOS EN EL FLANCO NORTE DEL ANTI
CLINAL DE PUEBLA DE GUZMAN (HUELVA)

PARA EL

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Tharsis, Octubre 1978

F. FDEZ. ALONSO

G.K. STRAUSS

40202

I N D I C E

| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 1. | INTRODUCCION | 1 |
| 2. | SINTESIS GEOLOGICO-MINERA | 2 |
| 3. | MINERALIZACIONES DE SULFUROS | 6 |
| 4. | INVESTIGACION GEOFISICA | 8 |
| 4.1 | Métodos empleados | 8 |
| 4.2 | Sistemática de la exploración | 8 |
| 4.3 | Elaboración de los datos de campo | 9 |
| 4.3.1 | Calicatas Eléctricas | 9 |
| 4.3.2 | Bloques de Resistividad | 9 |
| 4.3.3 | Gravimetria | 10 |
| 4.4 | Equipos | 13 |
| 4.4.1 | Resistividades | 13 |
| 4.4.2 | Gravimétrico | 14 |
| 4.4.3 | Topográfico | 14 |
| 5. | ZONA: "NORTE VIRGEN DE LA PEÑA" | 14 |
| 5.1 | Situación | 14 |
| 5.2 | Geología | 14 |
| 5.2.1 | Grupo P-Q | 16 |
| 5.2.2 | Complejo Volcánico Sedimentario | 16 |
| 5.3 | Mineria | 16 |
| 5.4 | Métodos geofísicos empleados | 17 |
| 5.5 | Trabajo realizado. | 17 |
| 5.5.1 | Gravimetria | 17 |
| 5.5.2 | Resistividades | 20 |

| | | |
|---------|-------------------------------------------------------------|----|
| 5.6 | Resultados obtenidos | 21 |
| 5.6.1 | Gravimetria | 21 |
| 5.6.1.1 | Anomalia Bouguer | 21 |
| 5.6.1.2 | Precisión del levantamiento gravimétrico | 21 |
| 5.6.1.3 | Anomalia regional | 22 |
| 5.6.1.4 | Anomalia residual | 23 |
| 5.6.2 | Resistividades | 24 |
| 5.7 | Análisis geofísico de la anomalia 1-V | 26 |
| 5.8 | Interpretación geológico-minera de la anomalia 1-V | 28 |
| 5.9 | Conclusiones | 28 |
| 6. | ZONA: "CABEZO DE SAN ROQUE + LA PEÑITA" | 30 |
| 6.1 | Situación | 30 |
| 6.2 | Geología | 30 |
| 6.2.1 | Grupo P-Q | 30 |
| 6.2.2 | Complejo Volcánico Sedimentario | 32 |
| 6.2.3 | Culm | 33 |
| 6.3 | Minería | 33 |
| 6.3.1 | Sulfuros | 33 |
| 6.3.2 | Manganeso | 34 |
| 6.3.3 | Galena | 34 |
| 6.4 | Métodos geofísicos empleados | 34 |
| 6.5 | Trabajo realizado | 35 |
| 6.5.1 | Resistividades | 35 |
| 6.5.2 | Gravimetria | 35 |
| 6.6 | Resultados obtenidos | 37 |
| 6.6.1 | Resistividades | 37 |
| 6.6.2 | Gravimetria | 39 |
| 6.7 | Interpretación geológico-minera de las anomalias geofísicas | 41 |
| 6.8 | Conclusiones | 42 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------|----|
| 7. | ZONA: "CUMBRE DE LAS JUNTAS" | 42 |
| 7.1 | Situación | 42 |
| 7.2 | Geología | 42 |
| 7.2.1 | Grupo P-Q | 43 |
| 7.2.2 | Complejo Volcánico Sedimentario | 43 |
| 7.2.3 | Culm | 45 |
| 7.3 | Minería | 45 |
| 7.4 | Métodos geofísicos empleados | 45 |
| 7.5 | Trabajo realizado | 45 |
| 7.5.1 | Resistividades | 45 |
| 7.5.2 | Gravimetría | 46 |
| 7.6 | Resultados obtenidos | 47 |
| 7.6.1 | Resistividades | 47 |
| 7.6.2 | Gravimetría | 49 |
| 7.7 | Interpretación geológico-minera de las anomalías geofísicas | 50 |
| 7.8 | Conclusiones | 51 |
| 8. | ZONA: "ESCARABAJERAS" | 51 |
| 8.1 | Situación | 51 |
| 8.2 | Geología | 52 |
| 8.3 | Minería | 52 |
| 8.4 | Métodos geofísicos empleados | 52 |
| 8.5 | Trabajo realizado | 52 |
| 8.5.1 | Resistividades | 52 |
| 8.5.2 | Gravimetría | 53 |
| 8.6 | Resultados obtenidos | 53 |
| 8.6.1 | Resistividades | 53 |
| 8.6.2 | Gravimetría | 53 |
| 8.7 | Interpretación geológico-minera de las anomalías | 54 |
| 8.8 | Conclusiones | |

| | | |
|-----|------------------------|----|
| 9. | CONCLUSIONES GENERALES | 55 |
| 10. | RECOMENDACIONES | 56 |
| 11. | BIBLIOGRAFIA | 58 |

INDICE DE PLANOSNORTE VIRGEN DE LA PEÑA

Plano nº

- 1 Plano de situación
- 2 Geología
- 3 Cuadrícula investigada
- 4 Anomalia de Bouguer
- 5 Anomalia Regional
- 6 Anomalia Residual
- 7 Perfil 7W. Correlación entre anomalias geoeléctrica y gravimétrica.
- 8 Perfil 8W. Correlación entre anomalias geofísicas (geoeléctricas y gravimétricas) y geología.
- 9 Perfil 9W. Correlación entre anomalias geofísicas (geoeléctricas y gravimétricas) y geología.

CABEZO SAN ROQUE + LA PEÑITA

- 10 Plano de situación
- 11 Geología
- 12 Cuadrícula investigada
- 13 C.E. Curvas isorresistivas. Dispositivo: A ∞ M20N100B
- 14 C.E. Curvas isorresistivas. Dispositivo: A ∞ M20N200B
- 15 Anomalia Bouguer
- 16 Correlación entre anomalias geoeléctricas y gravimétricas

CUMBRE DE LAS JUNTAS

Plano nº

- 17 Plano de situación
- 18 Geología
- 19 Cuadrículas investigadas
- 20 Bloques de Resistividad. Curvas isorresistivas.
- 21 Gravimetria: Anomalia Bouguer
- 22 Correlación entre anomalías geoelectricas y gravimétricas.

ESCARABAJERA

- 17 Plano de situación
- 23 Geología
- 19 Cuadrícula investigada
- 24 Bloques de Resistividad. Curvas isorresistivas.
- 25 Correlación entre anomalías eléctrica y gravimétrica.
Perfil 30W.

INDICE DE FIGURAS

Figura nº

- 1 Anticlinal de Puebla de Guzmán. Situación general de las zonas investigadas
- 2 Columna litoestratigráfica general del Anticlinal de Puebla.
- 3 Situación de la Base Principal Relativa de Tharsis.
- 4 Norte Virgen de la Peña. Columna litoestratigráfica.
- 5 Norte Virgen de la Peña. Esquema de cierres altimétricos.
- 6 Norte Virgen de la Peña. Diferencias de lecturas de gravímetro.
- 7 Cabezo San Roque + La Peñita. Columna litoestratigráfica.
- 8 Cabezo San Roque + La Peñita, Cumbre de las Juntas y Escarabajeras. Diferencias de lecturas de gravímetro.
- 9 Cabezo San Roque + La Peñita. Esquema de cierres altimétricos.
- 10 Cumbre de las Juntas. Columna litoestratigráfica.
- 11 Cumbre de las Juntas. Esquema de cierres altimétricos.

1. INTRODUCCION

El presente trabajo forma parte de un ambicioso programa del IGME que contempla la exploración de sulfuros estratiformes masivos en la zona central de la Reserva del Suroeste (Huelva), dentro de la Faja Pirítica Ibérica, una de las provincias metalogénicas más importantes de Europa.

Se han investigado, con métodos geofísicos, cuatro zonas, delimitadas en un levantamiento geológico detallado del flanco norte del Anticlinal de Puebla de Guzmán, y denominadas: Norte Virgen de la Peña, Cabezo San Roque + La Peñita, Cumbre de las Juntas y Escarabajeras, con una superficie aproximada de 19 Km².

Hemos empleado simultáneamente métodos geoelectricos (Calicatas Eléctricas y Bloques de Resistividad) y gravimetría. Según las características litotopográficas de cada zona, una de estas técnicas geofísicas se eligió como base de la investigación mientras que la otra se empleó como complementaria para determinar el carácter "metálico" o "sin metal" de las anomalías detectadas con el método base. Esta sistemática se fundamenta en las propiedades físicas de los yacimientos de sulfuros y de las rocas de su ambiente geológico, y su eficacia ha sido confirmada en numerosos casos prácticos, algunos recogidos en la bibliografía que se cita al final.

En este informe se expone, para cada zona, los trabajos realizados, métodos empleados, resultados obtenidos y conclusiones prácticas deducidas de la interpretación geofísica y geológica de los gráficos y curvas que resultan de las mediciones de campo.

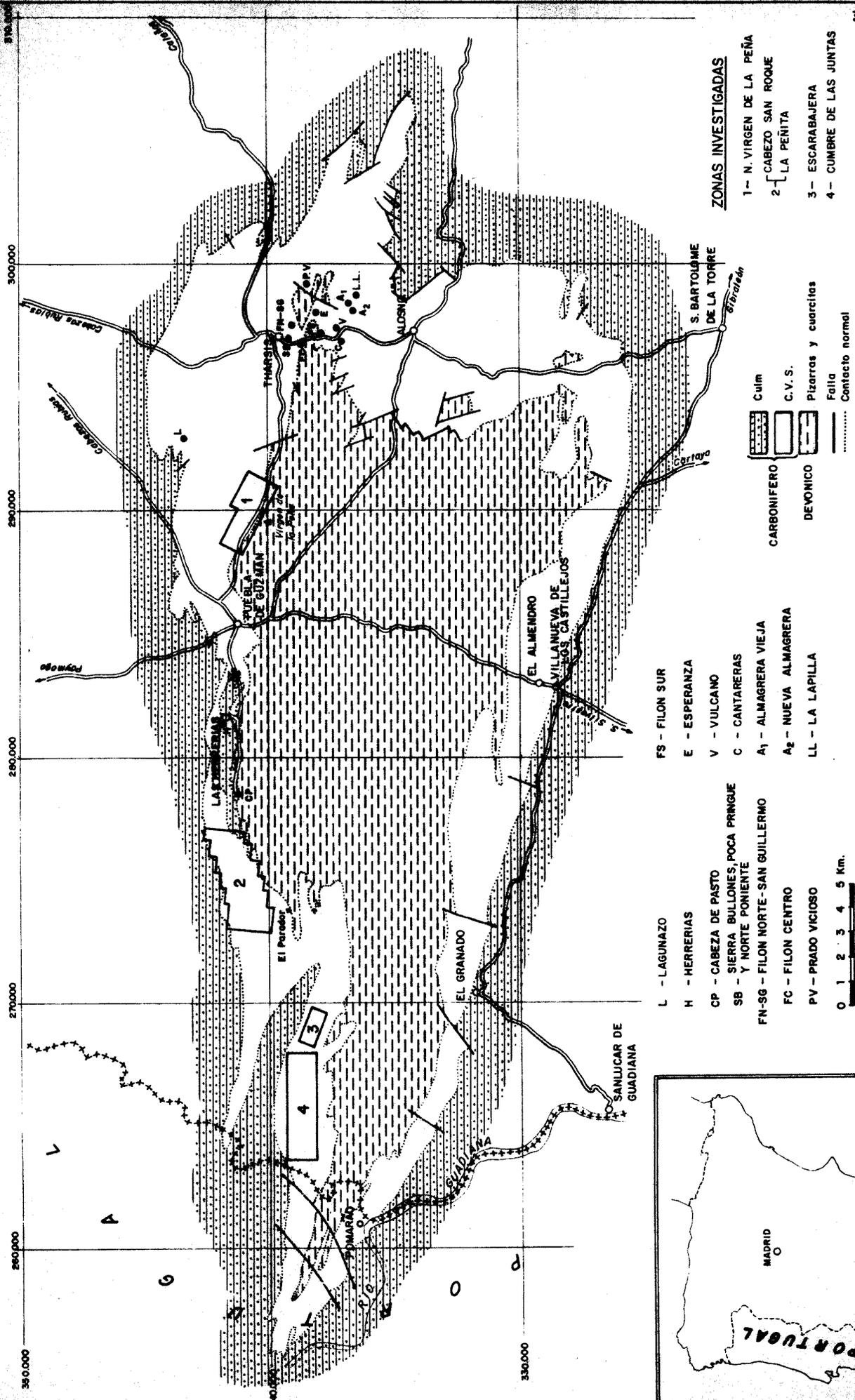
2. SINTESIS GEOLOGICO-MINERA

El Anticlinal de Puebla de Guzmán es una de las principales macroestructura del Cinturón Piritico, con eje E-W de unos 40 Km. de longitud. En planta tiene forma aproximadamente triangular, con vértices en Pomarao (Portugal), Tharsis y San Bartolomé de la Torre (Huelva), y en ella se encuentran representadas las tres grandes unidades litoestratigráficas características de esta provincia metalogénica que, de muro a techo, son:

- pizarras y cuarcitas, datadas faunisticamente como Devónico Superior (Fameniense). Grupo P-Q.
- rocas volcánicas, ácidas y básicas, alternando con sedimentos. Complejo Volcánico Sedimentario (C.V.S.) de edad comprendida entre el Tournaisiense y el Viseiense Inferior (base del Carbonifero). Son frecuentes interdigitaciones volcanitas-rocas sedimentarias y cambios de facies laterales y en la vertical.
- a techo de la serie, pizarras y grauvacas, también del Carbonifero Inferior (Viseiense Superior), en facies Culm.

Asociadas a esta estructura, en su parte española, se encuentran las poblaciones de Tharsis, Puebla de Guzmán, Herrerías, El Granado, El Almendro, Villanueva de los Castillejos, San Bartolomé de la Torre y Alosno, entre otras de menor importancia.

En la figura nº 1 se representa la distribución espacial de las tres unidades litoestratigráficas, la ubicación de las poblaciones antes enumeradas y la situación geológica y geográfica de las zonas incluidas en este informe.

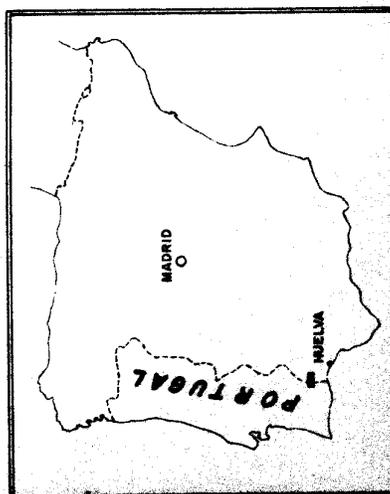


ANTICLINAL DE PUEBLA DE GUZMAN
SITUACION GENERAL DE LAS ZONAS INVESTIGADAS

Fig-1 F.F.A-1978

- | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------------|----------------------|
| L - LAGUNAZO | FS - FILON SUR | Carbonífero | Culm |
| H - HERRERIAS | E - ESPERANZA | Devónico | C.V.S. |
| CP - CABEZA DE PASTO | V - VULCANO | | Pizarros y cuarcitas |
| SB - Y NORTE PONIENTE | C - CANTARERAS | | Falla |
| FN-SG - FILON NORTE-SAN GUILLERMO | A ₁ - ALMAGRERA VIEJA | | Contacto normal |
| FC - FILON CENTRO | A ₂ - NUEVA ALMAGRERA | | |
| PV - PRADO VICIOSO | LL - LA LAPILLA | | |

- ZONAS INVESTIGADAS**
- 1- N. VIRGEN DE LA PEÑA
 - 2- CABEZO SAN ROQUE
 - 3- ESCARABAJERA
 - 4- CUMBRE DE LAS JUNTAS



0 1 2 3 4 5 Km.

El grupo P-Q y el Culm son mineramente estéril.

Los yacimientos de sulfuros (también los de manganeso, aunque aquí no son objeto de estudio), se presentan en, y solo en, el Complejo Volcánico Sedimentario, relacionados con el volcanismo ácido, que constituye un metalotacto litológico para toda la región metalogénica, desde Aznalcollar (Sevilla), hasta el Océano Atlántico en Portugal, con más de 240 Km. de longitud. Por criterios litofaciales es posible establecer, dentro de esta unidad, una volcano-estratigrafía cartografiando detalladamente la secuencia: "brechas y/o aglomerados - tobas gruesas - tobas finas - pizarras púrpura", no necesariamente completa. De esta manera Strauss y colaboradores diferencian en la región de Tharsis tres ciclos de volcanismo ácido, denominados Tharsis I, Tharsis II y Tharsis III (o Gatos), extrapolables a todo el Anticlinal de Puebla. La secuencia volcano-estratigráfica así definida se expone en la columna litoestratigráfica general de la figura 2. Hasta el presente, según confirma la experiencia, solo es productivo el primer volcanismo de la transversal considerada.

En cada ciclo volcánico puede distinguirse una subfacies "proximal" y otra "distal", en función de la granulometría de los aportes piroclásticos. De esta manera es posible determinar la ubicación aproximada del aparato volcánico original, y en base a ella, delimitar la zona donde la esperanza de nuevas mineralizaciones es mayor. Evidentemente los criterios anteriormente expuestos se tuvieron en cuenta al establecer las áreas objeto de esta investigación, situadas sobre afloramientos del C.V.S.

La pila litoestratigráfica precedente ha sido afectada por la

| EDAD | | LITOLOGIA | | CICLOS DE VOLCANISMO ACIDO | |
|---------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------|
| CARBONIFERO | GRUPO CULM. | | Pizarras y grauwackas | | |
| | | | Pizarras (fossilíferas) | | |
| | COMPLEJO VOLCANICO (C.V.S.) | | Volcanitas ácidas submarinas: Lavas, brechas y aglomerados. Tobas feldespáticas. | | VOLCANISMO III |
| | | | Pizarras púrpura y vinosas. | | |
| | | | Pizarras y tufitas, tobas finas con cherts. | | |
| | | | Volcanitas ácidas submarinas, lavas, brechas, aglomerados y tobas masivas feldespáticas. | | VOLCANISMO II |
| | | | Pizarras | | |
| | | | Volcanitas básicas submarinas: Lavas y tobas espiálticas. (D= diabasas intrusivas) | | |
| | | | Pizarras con lentejones de areniscas y cuarcitas. | | |
| | | | Pizarras púrpura con lentejones de jaspe. | | |
| | GRUPO DE PIZARRAS Y CUARCITAS (P-Q) | | Pizarras y tufitas con masas y lentejones de sulfuros. Tobas finas con cherts. Pizarras carbonosas. Esporádicos lentejones calcáreos fossilíferos. | | |
| | | | Pizarras arcillosas, silíceas y tufitas. | | |
| DEVONICO SUP. | GRUPO DE PIZARRAS Y CUARCITAS (P-Q) | | Pizarras arcillosas con lentejones de cuarcitas, conglomerados y areniscas. Escasos lentejones de calizas fossilíferas en el techo. | | |
| | | MURO DESCONOCIDO | | | |

ANTICLINAL DE PUEBLA DE GUZMAN
SECUENCIA LITOESTATIGRAFICA GENERAL

FIG-2

Orogenia Hercínica que plegó y deformó los materiales de la Faja Pirítica.

Se distinguen en general dos etapas tectónicas. La primera, la fase principal, es la responsable de las macroestructuras y origina pliegues de ejes casi E-W (predominantemente isoclinales), esquistosidad de plano axial buzando fuerte al Norte y un metamorfismo regional de bajo grado. La segunda está representada por pliegues de gran radio y, más frecuente, por dos familias conjugadas de fracturas y fallas subverticales de dirección NE y SW respectivamente.

En detalle las cosas se complican y es posible distinguir tres, cuatro y hasta cinco fases tectónicas (Lecolle 1970 y Aye 1974).

3. MINERALIZACIONES DE SULFUROS

Hasta el momento hay tres núcleos mineros relacionados con el Anticlinal de Puebla de Guzmán: Tharsis, Lagunazo y Herrerías, con unas reservas reconocidas de 175 millones de toneladas de sulfuros, principalmente pirita.

- Tharsis es uno de los centros mineros más importantes de la Faja Pirítica y está formado por 13 diferentes masas, que totalizan unos 165 millones de toneladas. Este potencial minero se encuentra espacialmente en relación con el anticlinal devónico de Tharsis, una estructura satélite del macroanticlinal de Puebla situada en su cierre periclinal NE. Algunas masas (Filón Centro, Filón Sur, La Lapilla y Vulcano) están de hecho agotadas; otras, como Cantareras,

Nueva Almagrera y, en buena parte, Vieja Almagrera, se encuentran prácticamente vírgenes y han sido descubiertas en los últimos tiempos por medio de estudios geológicos-geofísicos. En la actualidad se explotan a cielo abierto las de Filón Norte y San Guillermo con una producción próxima al millón de toneladas anuales.

- En Lagunazo hay un yacimiento, parcialmente explotado, con reservas de 5 millones de toneladas aproximadamente.
- En Herrerías se conocen dos depósitos, Herrerías y Cabezo de Pasto. Este último es, hasta el momento, la mineralización más occidental del anticlinal y se encuentra prácticamente agotado. La explotación se centra en la masa de Herrerías con una producción del orden de 120.000 toneladas año. Reservas estimadas de 3 millones de toneladas.

En la figura 1 se muestra la situación de estos yacimientos que hacen del anticlinal de Puebla una de las estructuras más importante del Cinturón Pirítico. Llama la atención la ausencia de mineralizaciones en el flanco Sur y buena parte del Este. Las causas de este hecho pueden ser: 1º) volcanismo estéril, 2º) nivel de erosión profundo y eliminación de buena parte de los depósitos existentes, y 3º) el nivel de erosión no alcanza las "cabezas" de los depósitos de sulfuros, y en consecuencia no afloran los clásicos "gossan" que permitieron descubrir la mayor parte de los yacimientos en la antigüedad.

Es necesario indicar que el C.V.S. del flanco Sur y buena parte del cierre periclinal Este no han sido explorados.

4. INVESTIGACION GEOFISICA

4.1 Métodos empleados

Para investigar las áreas seleccionadas hemos utilizado métodos geoeléctricos laterales, en las modalidades de Calicatas Eléctricas (C.E.) y Bloques de Resistividad (B. de R.), y gravimetria.

La eficacia de ambas técnicas geofísicas en la exploración del Cinturón Pirítico está ampliamente probada. Durante las dos últimas décadas, resistividades y gravimetria han sido las principales responsables de la localización de más de 240 millones de toneladas de sulfuros (Strauss et al 1977).

4.2 Sistemática de la exploración

Las propiedades físicas de mineralización y rocas encajantes de esta región metalífera, hace necesario la aplicación simultánea de métodos eléctricos y gravimétricos para localizar nuevos depósitos. En base a esto, cada anomalía de uno de los métodos (resistividades o gravimetria), ha sido reconocida con el otro (gravimetria o resistividades). En la elección del método base se han conjugado condicionantes económicos y características topográficas y litológicas de las áreas investigadas. Al analizar los resultados de estas se indica el método base y el complementario, así como la red de observaciones empleada.

Las C.E. se efectuaron con un dispositivo "trieletródico compuesto" de dimensiones $A \infty M20N100B$ y $A \infty M20N200B$. Para los B. de R. las separaciones interelectródicas fueron de

1.800 m., en los electrodos de corriente (AB), y 40 m. para los de potencial (MN), cubriéndose con cada uno un rectángulo de 54 Has. Los bloques contiguos se solaparon repitiendo un perfil (bloques paralelos) o las dos últimas estaciones de cada perfil (bloques transversales). La distancia entre estaciones en ambas técnicas electrorresistivas fué de 20 m. La red de observaciones gravimétricas varia según sea método base o complementario.

4.3 Elaboración de los datos de campo

4.3.1 Calicatas Eléctricas

Las mediciones de campo (milivoltios y miliamperios) se han transformado en resistividades aparentes aplicando la fórmula

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

donde la constante K es 3768 para el dispositivo A ∞ M2ON100B, y 13816 para el A ∞ M2ON200B.

Como parametros estimadores de la importancia de las anomalias se han empleado el "coeficiente de superficialidad" (ρ_a M2ON200B/ ρ_a M2ON100B) y la "amplitud" (ρ_a max/ ρ_a min).

4.3.2 Bloques de Resistividad

Mediante la fórmula (1), donde

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (2)$$

es variable para cada estación, se han calculado las resistividades aparentes.

Los bloques que componen una zona están reducido a uno de ellos haciendo los oportunos ajustes a partir de los perfiles y estaciones solapadas. De esta manera hemos obtenido resultados homogéneos equiparables.

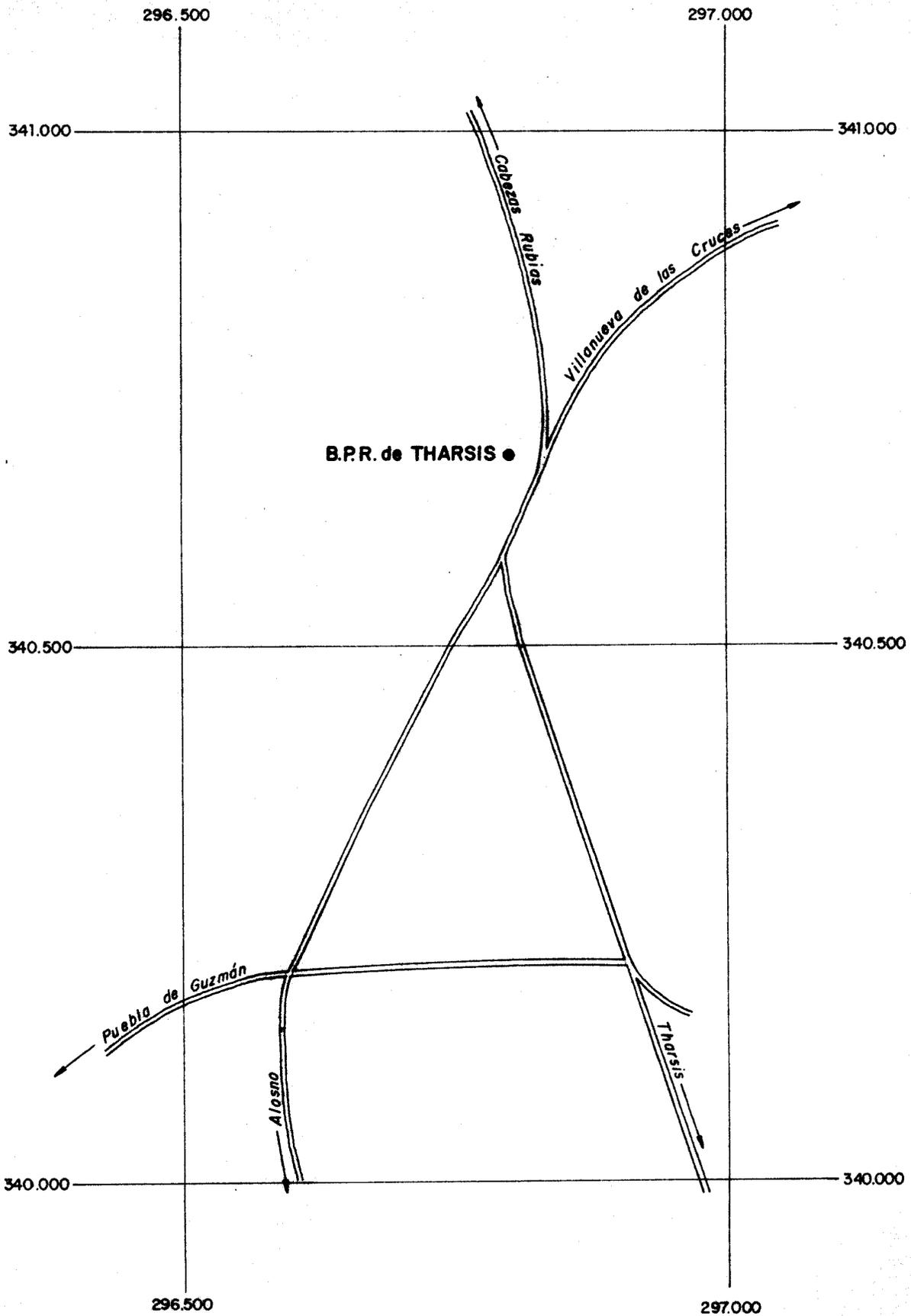
Como parametro estimador de la importancia de las anomalías hemos empleado la "amplitud" definida en el apartado precedente.

4.3.3 Gravimetria

Se ha seguido la sistemática usual en este tipo de exploraciones.

- Establecimiento, en cada zona, de una red de bases relativas que se enlazaron entre si y con la Base Principal Relativa (B.P.R.); del cruce de las carreteras Tharsis a Villanueva de Las Cruces y Tharsis a Cabezas Rubias. Esta base la venimos utilizando para todos los levantamientos gravimétricos de la Faja Pirítica y se encuentra materializada en el terreno con un mojón de mamposteria y un clavo metálico. Un croquis de su situación se reproduce en la figura 3. Posteriormente, Julio de 1978, el IGME estableció una red de bases absolutas, apoyadas en las de primer orden de Huelva y Ayamonte del Instituto Geográfico y Catastral, y a esta red hemos enlazado nuestra B.P.R. De esta manera, aunque las cuadrículas están referidas a una base arbitraria, en cada una se indica la cantidad que es necesario sumar para relacionarla a la red de absolutas. (*)
- Cada jornada de trabajo, a intervalos de tiempo inferiores a dos horas, se ha ocupado una de las bases

(*) Dificultades de última hora en los cálculos de la red de absolutas nos impide incluir aquí dichas cantidades.



Escala 1:5000

ANTICLINAL DE PUEBLA DE GUZMAN
 SITUACION DE LA BASE PRINCIPAL
 RELATIVA (B. P. R.) DE THARSIS

FIG.- 3

FFA-1979

relativa próxima para determinar la deriva del gravímetro. No se ha efectuado corrección luni-solar.

- La corrección por latitud se refiere siempre a uno de los paralelos que pasa por la zona. La constante de latitud KL , se determina de la expresión:

$$KL = 0'8122 \text{ sen } 2\varphi \frac{0.8133 \text{ mlg}}{\text{Km}} \quad (3)$$

siendo φ la latitud de la línea base.

La planimetría se ha realizado sobre un plano topográfico fotogramétrico, escala 1:10.000, facilitado por el IGME.

- La altitud de cada estación se refiere al nivel medio del mar en Alicante, para lo que se han establecido los correspondientes enlaces con vértices de altura conocida. La corrección de altitud (CA), que agrupa a las de aire libre y Bouguer, está dada por la expresión:

$$CA = (0,3086 - 0,0419d) \text{ miligal/metro} \quad (4)$$

donde d es la densidad media.

- El efecto del terreno (corrección topográfica), se ha calculado manualmente, método Hammer, hasta una distancia de 2.614,60 m. de la estación (zona H). Para esta corrección se utilizan planos escala 1:10.000, con curvas de nivel cada 5 m., (zonas B a E) y 1:25.000 con curvas de nivel cada 10 m. (zonas F a H).

- La densidad media (d) adoptada para todas las zonas fué de 2,60 gr/cm³.

El valor o Anomalia de Bouguer de cada estación se calcula por la fórmula:

$$A_B = g_{obs} \pm CL + CA + CT \quad (5)$$

donde g_{obs} = valor observado transformado en miligales, corregido por deriva y reducido a la Base Principal Relativa

CL = corrección por latitud

CA = corrección por altitud (aire libre y Bouguer)

CT = corrección topográfica

4.4 Equipos

4.4.1 Resistividades

Se utilizó un equipo de resistividades de corriente continua, tipo Geotrón, compuesto por:

- milivoltímetro GEO 300, con alta impedancia de entrada, once márgenes de medida, entre 1 mV y 100V a fondo de escala, y 10 μ V de lectura mínima.
- miliamperímetro con cinco márgenes de medida, entre 30 y 3.000 miliamperios a final de escala, selector de tensión del circuito de corriente e interruptor incorporados.

- fuente de alimentación de pilas secas (400V de tensión máxima), carretes de cable aislado, electrodos impolarizables y de hierro, etc....

4.4.2 Gravimétrico

Gravímetro WORDEN PROSPECTOR nº 894 con 0.1050 miligal/división de constante de escala.

4.4.3 Topográfico

Nivel KERN modelo G.K 23 G con miras de nivelación metálicas de 2 mm. de división mínima.

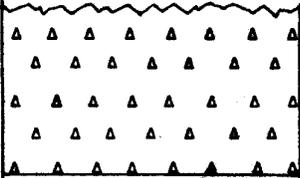
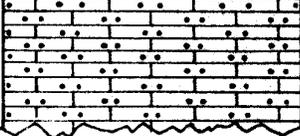
5. ZONA: "NORTE VIRGEN DE LA PEÑA"

5.1 Situación

Se encuentra entre Tharsis y Puebla, inmediatamente al Norte del vértice de 2º orden Virgen de la Peña (plano 1), dentro del término municipal de Puebla de Guzmán.

5.2 Geología

La cartografía geológica se indica en el plano 2, que reproduce, con ligeras modificaciones, el levantamiento efectuado en 1975. Afloran el Devónico (grupo litológico P-Q) y una parte del Complejo Volcánico Sedimentario (Carbonífero Inferior). La columna litoestratigráfica se reproduce en la figura 4.

| EDAD | | LITOLOGIA | CICLOS DE VOLCANISMO ACIDO |
|-------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| CARBONIFERO | COMPLEJO VOLCANICO SEDIMENTARIO (C. V. S.) |  <p>Lavas y tobas ácidas de bréichicas a grano fino (VA₂)</p> | VOLCANISMO II |
| | |  <p>Pizarras con lentejones de areniscas y cuarcitas. (D= diabasas intrusivas)</p> | |
| | |  <p>Pizarras, tobas finas y tufitas con chert y jaspe.</p> | |
| DEVON. SUP. | P-Q |  <p>CUARCITAS " VIRGEN DE LA PEÑA "</p> | |

ZONA : NORTE VIRGEN DE LA PEÑA
 COLUMNA LITOSTRATIGRAFICA

FIG-4

5.2.1 Grupo P-Q

Está representado por el afloramiento cuarcítico más importante de toda la provincia metalogénica. Son cuarcitas muy puras que destacan dentro de la orografía de la comarca. En su cumbre se encuentra la Ermita de la Virgen de la Peña, de donde toma nombre el afloramiento. La zona explorada incluye una franja del límite Norte de este afloramiento (plano 2).

5.2.2 Complejo Volcánico Sedimentario

Forman esta unidad volcanitas ácidas y pizarras que lateralmente pasan a pizarras con areniscas y cuarcitas, siempre con nódulos de pirita y manganeso. También afloran volcanitas básicas intrusivas.

De los distintos ciclos volcánicos establecidos, solo se encuentra presente el segundo (VA_2), correspondiente a Tharsis II de la secuencia litoestratigráfica general (figura 4), que aflora en una franja SE-NW separada del grupo P-Q por una estrecha banda de pizarras tufíticas grafitosas. Hacia el NW estas pizarras se acuñan y las volcanitas se ponen en contacto directo con cuarcitas.

Entre los materiales volcánicos predominan lavas y tobas gruesas, litofacies que se interpretan como proximales a foco volcánico.

5.3 Minería

No hay afloramientos gossanizados. La única labor minera de alguna importancia es un pozo de poca profundidad,

situado en la franja sur de pizarras y tufitas carbonosas. No hemos encontrado sulfuros en sus vacies. Además existe una pequeña calicata al NW del mencionado pozo. Estas labores se han señalado en los planos 1:5.000 y 1:10.000 que se adjuntan.

5.4 Métodos geofísicos empleados

- Método base: gravimetria
- Método complementario: calicatas eléctricas

Esta distribución se decidió despues de comprobar que las pizarras y tufitas de los vacies del pozo antes mencionado son electricamente conductoras.

5.5 Trabajo realizado

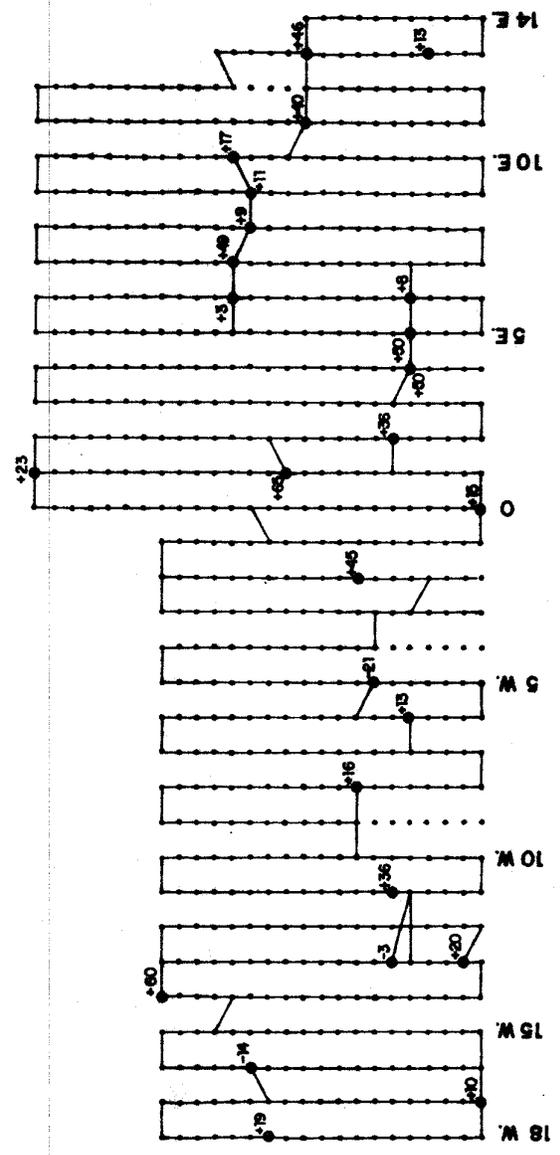
5.5.1 Gravimetria

La zona se cubrió con una red de 50 x 100 m., según indica el plano 3. El número de estaciones incluida en la cuadrícula es de 707, distribuidas en 33 perfiles transversales a las estructuras.

Todas las estaciones fueron replanteadas en el terreno por medio de estaquillas de madera numeradas y de cada punto se determinó su altitud, referida al nivel del mar, y su valor gravimétrico relativo.

El error estimado en la ubicación de las estaciones es inferior a ± 5 m. en dirección de los perfiles.

Un croquis con los cierres altimétricos se reproduce en



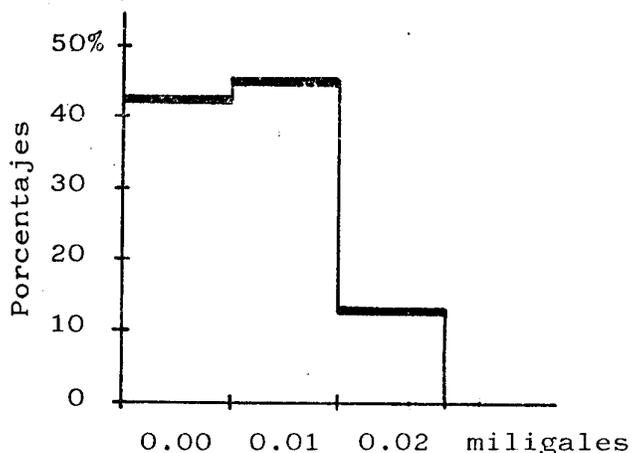
ANTICLINAL DE PUEBLA DE GUZMAN
 ZONA: NORTE VIRGEN DE LA PEÑA
 ESQUEMA DE CIERRES ALTIMETRICOS
 (DIFERENCIAS EN MILIMETROS)

0 100 m.

la figura 5. La media de las diferencias absolutas de estos cierres es de 26 mm., con valores extremos de 3 y 65 milímetros.

Las derivas fueron siempre inferiores a 0,05 miligal/hora, excepto para el día 26/11/77 que fué de 0,07 miligales/hora de promedio.

La precisión de las lecturas gravimétricas se determinó repitiendo 80 estaciones, que representan algo más del 11% del total. Las diferencias observadas se reproducen en la figura 6 como frecuencias porcentuales. El error cuadrático medio de estas diferencias es de $\pm 0,002$ miligales.



Zona: Norte Virgen de la Peña

DIFERENCIAS DE LECTURAS DE GRAVIMETRO

Fig. 6

Las medidas gravimétricas de campo, transformadas en miligales, corregidas por deriva y reducidos a la B.P.R. fueron afectadas de las siguientes correcciones:

Latitud.- Se tomó como línea base el paralelo de latitud $37^{\circ}37'N$, que pasa por el interior de la cuadrícula, cuya constante es $0,785 \times 10^{-3}$ miligal/metro en dirección N-S (4.3.3). 0.786

Altitud.- Para una densidad $d = 2,60$ gr/cm³. el valor de la constante de altitud es $KA = 0,1997$ miligal/metro. (4.3.3). $0,1997$

Corrección topográfica.- Se ha seguido el proceso descrito en el apartado 4.3.3. En el 94% de las estaciones las correcciones topográficas son inferiores a 0,5 miligales. De las restantes, 27 tienen entre 0,5 y 0,8 miligales, 10 entre 0,8 y 1 y 8 más de 1 miligal. Estas últimas se encuentran en la franja Sur de la cuadrícula.

La precisión de esta etapa de cálculo es difícil de evaluar. Si, como es usual, se considera igual al 10% del valor de la corrección topográfica, es mejor que 0,05 miligales para el 94% de las estaciones, entre 0,05 y 0,08 para 27 estaciones y del orden de 0,1 miligal en 8 estaciones (el 1,1% del total).

5.5.2 Resistividades

Se realizaron tres perfiles de resistividad coincidiendo con los números 7W, 8W y 9W (plano 3). En total se han medido 1.500 metros de Calicatas Eléctricas dobles con los dispositivos indicados en el apartado 4.2. Las estaciones, separadas 20 m. entre si, se materializaron en el terreno con estaquillas de madera numeradas.

Las mediciones de campo se transformaron en resistividades eléctricas por medio de la fórmula (1) del apartado 4.3.1 y con este parametro hemos trazado para cada perfil, los correspondientes gráficos de resistividad.

5.6 Resultados obtenidos

5.6.1 Gravimetria

5.6.1.1 Anomalia Bouguer

Por medio de la expresión (5) se calculó, para cada estación, la Anomalia Bouguer cuyos resultados, en forma de isolíneas, se reproducen en el plano 4. Para evitar números de varias cifras se ha restado 180 miligales a toda la cuadrícula.

Las estructuras gravimétricas se orientan de SE a NW como la corrida de afloramientos litológicos. El gradiente es negativo hacia el Norte, con un valor de 1,86 miligal/Km., aunque es mayor (2,66 miligal/Km.), en la mitad meridional de la cuadrícula

Al Sur de Puerto Alegre aparece un claro máximo con el valor más alto en la estación 5 del perfil 8W.

No hay inflexión de isolíneas en relación con el pozo del perfil 4E ni con la pequeña calicata mecánica del 6W (ver 5.3).

5.6.1.2 Precisión del levantamiento gravimétrico

Es función de los errores introducidos en las distintas

etapas que conducen al cálculo de la Anomalia Bouguer, y, para el 94% de las estaciones de la cuadrícula, se resumen a continuación:

| Fuente de error | Error(ϵ) | ϵ en miligales. | ϵ^2 |
|---------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------|
| L ^a gravímetro | — | ± 0.0020 | 0.000004 |
| Latitud | ± 5 m. | ± 0.0039 | 0.000015 |
| Altitud | ± 26 mm. | ± 0.0052 | 0.000027 |
| Topografía (CT) | — | ± 0.0500 | 0.002500 |
| | | | $\Sigma \epsilon^2 = 0.002546$ |

El error máximo, suponiendo que todos actúan en el mismo sentido, es $\pm \sqrt{0.002546} = \pm 0,050$ miligal. En consecuencia son interpretables anomalías desde 0,1 miligal, si aparecen en varias estaciones.

5.6.1.3 Anomalia regional

Se ha calculado matemáticamente mediante ajuste por mínimos cuadrados a una superficie de segundo grado. Por comodidad para el cálculo se han elegido ejes de representación arbitrarias, cuya relación con las coordenadas Lambert es la siguiente:

- origen.- estación cero del perfil 18W de coordenadas Lambert X = 287.920 e Y = 341.575
- el eje de ordenadas coincide con el perfil 18W y forma un ángulo de 24.5° Este con el Norte Lambert.

El eje de abscisas, en consecuencia, es perpendicular a los perfiles.

En el plano 5 se reproduce la regional calculada que corresponde a la ecuación:

$$Z = 6.2235885 + 0.0000129355x + 0.002766995y + 0.000000153x^2 + 0.000000385xy + 0.00000144y^2 \quad (6)$$

Se confirma el gradiente y su variación Sur-Norte ya indicado al analizar la Anomalia Bouguer. La tendencia de las isolíneas es definir un mínimo gravimétrico regional en algún punto situado más al Norte, fuera de la zona explorada. Estos resultados son coherentes con la geología de toda la región.

También hemos determinado una regional por métodos gráficos que solo reproducimos para zonas anómalas en las que las divergencias con la dada por la expresión (6) son más importantes.

5.6.1.4 Anomalia Residual

Los valores Bouguer menos los regionales se han representado en el plano 6 y constituyen la Anomalia Residual. Estas diferencias fueron calculadas simultáneamente con la regional matemática. Las isolíneas positivas, cero y negativas se han dibujado con trazado diferente.

Los máximos de gravedad se disponen principalmente en una franja próxima a la carretera Tharsis-Puebla de

Guzmán. En su mayor parte son núcleos locales de + 0,2 miligales, que rodean dos o tres estaciones. El más importante, tanto por intensidad como por morfología, aparece entre los perfiles 6W y 13W, a la altura de las estaciones números cinco, y ha sido designado como anomalía gravimétrica 1-V. (plano 6). Presenta tres centros positivos de los que el más destacado coincide con la estación 5 del perfil 8W.

Sigue en importancia un máximo de + 0,3 miligales, al Este del anterior y a su misma altura, entre los perfiles 2W y 2E.

La anomalía 1-V. es la estructura gravimétrica residual más destacable de cuantas han aparecido y está claramente señalada también en el plano Bouguer. Su intensidad residual máxima es de + 0,52 miligales sobre la regional matemática y de + 0,66 miligales sobre la regional gráfica (plano 8).

Para decidir sobre la naturaleza del cuerpo que origina esta anomalía es necesario conocer su comportamiento eléctrico (4.2).

5.6.2 Resistividades

Las curvas de C.E. correspondientes a los perfiles gravimétricamente anómalos (7W, 8W y 9W), se representan en los planos 7, 8 y 9, junto con los gráficos Bouguer, regional y residual.

Limitándonos aquí exclusivamente a los resultados geoelectrónicos se observa lo siguiente:

- En los tres perfiles investigados, para ambos dispositivos, existe un amplio mínimo eléctrico (C.I), en el que las resistividades más bajas corresponden al dispositivo superficial A∞M2ON100B. Dentro de este conductor, los perfiles 8W y 9W, presentan dos mínimos más acusados (a) y (b), con 20-30 ohm.m. de resistividad.
- Al Sur del conductor C.I, y principalmente, en los perfiles 8W y 9W, hay otro mínimo (C.II) que solo aparece con el dispositivo profundo A∞M2ON200B (planos 8 y 9).
- Por el Norte el C.I se pone en contacto brusco con materiales resistivos. Este contacto puede ser mecánico (falla), o sedimentario subvertical.
- Las estaciones meridionales para el dispositivo superficial, son las más resistivas con valores superiores a 500 ohm.m. En el resto de los perfiles son siempre inferiores a 400 ohm.m.

Resumiendo los resultados geoelectrónicos se puede afirmar que existe un conductor profundo (C-II), que por el Norte se pone en contacto con otro que comienza desde la superficie (C-I), en el que se pueden distinguir cambios laterales de resistividad (mínimos (a) y (b)). El contacto septentrional de este último conductor es brusco.

Los parametros estimadores de la importancia de estas anomalias (ver 4.3.1) se resumen en el cuadro siguiente.

| Perfil nº | Coeficiente de superficialidad | | Amplitud | |
|--------------|--------------------------------|------|----------|------|
| | C-I | C-II | C-I | C-II |
| 7W | 1.8 | — | 17,5 | — |
| 8W | 1.8 | 0,26 | 11,6 | 3,3 |
| 9W | 1.4 | 0,22 | 5,7 | 6,6 |

5.7 Análisis geofísico comparado de la anomalia 1-V.

Hay buena correlación entre conductores eléctricos y máximos gravimétricos, según muestran los planos 7 a 9 que reproducen los gráficos geofísicos de los perfiles 7W, 8W y 9W respectivamente. En ellos se aprecia que el conductor eléctrico es de mayores dimensiones que el cuerpo denso.

En el perfil 7W, situado en el límite oriental de la anomalia (plano 6), hay un máximo gravimétrico de + 0,28 miligales (residual gráfica), en la estación 5. Eléctricamente sólo aparece el conductor C-I con una "potencia" de 170 m., muy superior a la "anchura" de la anomalia gravimétrica.

El perfil 8W, donde la intensidad gravimétrica es mayor (planos 4 y 6), tiene dos máximos próximos. El más importante, con + 0,52 y + 0,66 miligales de residual matemática

y gráfica respectivamente, es el situado al Sur. El septentrional alcanza + 0,35 miligales (residual y gráfica) y aparece en la estación 8. La primera de estas anomalias se encuentra en relación espacial con el conductor C-II y el mínimo (b) del C-I, y la segunda con el mínimo (a) del C-I. Los cuerpos densos, responsables de ambos máximos gravimétricos están próximos entre si y por esto las anomalias se solapan parcialmente dificultando la aplicación de estimadores de su profundidad. No obstante, conjugando los conceptos de "agudeza" y "resolución" de las anomalias gravimétricas se obtienen profundidades de 110 m. y menores de 130 m. respectivamente, para el cuerpo que origina la anomalía meridional. Estos valores son solo orientativos pero están acordes con los resultados geoelectricos.

Finalmente para el perfil 9W se puede aplicar lo dicho sobre el anterior. Aquí ambos máximos son del mismo orden de magnitud (plano 9), y los estimadores gravimétricos de la profundidad del cuerpo anómalo dan valores de 70 m. e inferiores a 100 m.

Para los tres perfiles la anomalía gravimétrica teórica que producen los cuerpos responsables de los conductores C-I y C-II son diferentes, tanto en intensidad como en morfología, de las obtenidas. Esto se interpreta en el sentido de que ambos cuerpos anómalos tienen diferentes dimensiones pero coinciden espacialmente. Los resultados geofísicos confirman que el máximo gravimétrico 1-V es una anomalía "metálica" y que los conductores eléctricos en parte son anomalías "metálicas" y en parte litológicos.

5.8 Interpretación geológico-minera de la anomalía 1-V.

En la parte inferior de los planos 8 y 9 se reproducen las secciones litológico-geofísicas determinadas conjugando datos geológicos de superficie, geoelectrónicos y gravimétricos, y sintetizan la interpretación geológico-minera de la investigación de esta zona.

La anomalía 1-V aparece sobre pizarras y tufitas pre VA_2 en la misma posición estratigráfica que Filón Norte (figura 1). La ausencia de afloramientos del primer volcanismo (productivo) puede significar que la actividad ígnea se inicia con el segundo ciclo de la secuencia general. Por otro lado esto no impide que en profundidad se encuentre representado dicho episodio volcánico. Algo similar puede haber ocurrido en Filón Norte donde el primer volcanismo, poco importante comparado con los restantes ciclos, aparece en el interior de la corta.

El origen de dicha anomalía, clasificada como "metálica" y geológicamente en un horizonte favorable, puede ser dos yacimientos de sulfuros cuya situación teórica estimada se indica en los planos 8 y 9. También, aunque con menor probabilidad, ambos máximos pueden estar producidos por una estructura anticlinal cerrada de núcleo denso y/o una intrusión de rocas básicas, encajadas en pizarras grafitosas buenas conductoras de la corriente eléctrica.

5.9 Conclusiones

- 5.9.1 En la cuadrícula del Norte de la Virgen de la Peña se ha localizado una anomalía gravimétrica, que designamos 1-V,

con un máximo principal de + 0,52 ó + 0,66 miligales, según se tome una regional matemática válida para toda la zona, o una regional gráfica de carácter local. Al Norte aparece otro máximo con intensidad residual inferior. Los cuerpos responsables de ambos máximos están próximos y sus anomalías se solapan parcialmente.

- 5.9.2 Una investigación geoelectrica complementaria en tres perfiles ha detectado dos mínimos de resistividad que designamos por C-I y C-II. El conductor C-I comienza desde la superficie ya que aparece en ambos dispositivos electródicos. El C-II solo se detecta con el de mayores dimensiones (A M20N200B) se trata pues de un conductor profundo.
- 5.9.3 La coincidencia espacial entre máximos gravimétricos y mínimos eléctricos es buena. No obstante la dimensión de los conductores es mayor que la de los cuerpos densos. Geofísicamente la anomalía gravimétrica se clasifica como "metálica" pero los cuerpos conductores son en parte "metálicos" y en parte "litológicos".
- 5.9.4 La anomalía 1-V se encuentra en un horizonte geológico-minero favorable. Su posición litoestratigráfica es análoga a la de Filón Norte.
- 5.9.5 En base a los datos obtenidos es muy probable que los cuerpos responsables de los máximos gravimétricos sean masas de sulfuros. Las reservas de estos yacimientos de sulfuros potenciales se estiman del orden de la media, dentro de la Faja Pirítica.

- 5.9.6 La interpretación precedente es la de mayores probabilidades, pero se obtendrían anomalías semejantes sobre un anticlinal cerrado de núcleo denso y/o una intrusión de rocas básicas en pizarras grafitosas conductoras, cuya presencia está confirmada.
- 5.9.7 Determinar cual de ambas alternativas concurre en el presente caso, solo puede hacerse con sondeos mecánicos.

6. ZONA: "CABEZO SAN ROQUE + LA PEÑITA"

6.1 Situación

El área de Cabezo San Roque + La Peñita pertenece a los términos municipales de Puebla de Guzmán y El Almendro, y es la prolongación occidental de la zona Herrerías-Cabezo del Pasto, cuyo informe fué remitido al Instituto Geológico y Minero de España en 1975. En el plano nº 10 se indica la cuadrícula investigada en relación con el trabajo precedente.

6.2 Geología

Afloran materiales de las tres unidades presentes en el Cinturón Pirítico: Grupo P-Q, Complejo Volcánico Sedimentario y Grupo Culm. En la figura 7 se reproduce la columna litoestratigráfica de esta zona.

6.2.1 Grupo P-Q

Se encuentra representado por pizarras y cuarcitas,

| EDAD | | LITOLOGIA | | CICLOS DE VOLCANISMO ACIDO | |
|-------------|-----------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------|
| CARBONIFERO | GRUPO CULM. | | Pizarras y grauwackas | VOLCANISMO III | |
| | SEDIMENTARIO | | Tobas ácidas de bréichicas a grano fino (VA ₃) | | VOLCANISMO II |
| | | | Pizarras púrpura | | |
| | | | Pizarras vinosas con jaspes | | |
| | | | Lavas y tobas ácidas de bréichicas a grano fino (VA ₂) | | |
| | | | Pizarras, tobas finas y tuffitas | | |
| | | | Espilitas efusivas | | |
| | | | Pizarras con lentejones de areniscas y cuarcitas (D= diabasas intrusivas) | | |
| | COMPLEJO VOLCANICO (C.V.S.) | | Pizarras, tobas finas y tuffitas con chert y jaspes | | |
| | | | Pizarras y cuarcitas con lentejones calcáreos fosilíferos | | |
| DEVON. SUP. | P-Q | | Pizarras y cuarcitas con lentejones calcáreos fosilíferos | | |

ZONA : CABEZO SAN ROQUE + LA PEÑITA

COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA

FIG.-7

principalmente, con lentejones de caliza fosilíferas de edad Fameniense (Devónico Superior), según confirman varias dataciones desde Pruvost, en 1912, sobre fauna de un afloramiento próximo a Pomarão (fig. 1), hasta Höllinger (1959) y V. d. Boogaard y Schermerhorn (1975), que estudiaron los microfósiles de estas calizas.

El grupo P-Q se extiende por el borde meridional de la cuadrícula estudiada (plano 11).

6.2.2 Complejo Volcánico Sedimentario

Forman esta unidad rocas volcánicas, ácidas y básicas, y rocas sedimentarias, mutuamente interdigitadas.

Referida a la secuencia volcano-estratigráfica general (fig. 2), los ciclos aquí presentes son el segundo y el tercero; no afloran representantes del primer volcanismo. Litológicamente ambos episodios son similares y están constituidos principalmente por tobas ácidas con tamaños entre bréchicas y grano fino. El mejor representado es el ciclo VA₃.

El volcanismo básico lo integran rocas extrusivas e intrusivas de composición mineralógica similar. Las primeras son lavas espiliticas y afloran principalmente en el Cabezo de San Roque y La Membrilla (plano 11). Las intrusivas son diabasas albíticas, con basicidad intermedia, y los afloramientos más llamativos están en La Peñita, El Parador y Los Pulidos. Estas rocas intruyen desde los últimos horizontes devónicos hasta sedimentos inmediatamente anteriores al segundo ciclo volcánico; su edad es, por lo tanto, pre-VA₂.

Las rocas sedimentarias son pizarras de varios tipos y colores (limosas, tufíticas, moradas, etc...), areniscas y cuarcitas.

Finalmente, hay varios crestos de jaspes manganésíferos en los parajes de Cabezo San Roque y La Membrilla.

6.2.3 Culm

Dentro de esta zona se encuentra representado, por el Norte, el sinclinal de Calañas, en las últimas estaciones de todos los perfiles, y, por el Sureste, el cierre occidental del sinclinal de Herrerías.

Litológicamente el Culm lo forman una monótona sucesión de pizarras y grauvacas en facies "flysch". En el sinclinal de Calañas fué posible diferenciar el nivel basal de pizarras con Posidonias y la serie de pizarras y grauvacas suprayacente (plano 11).

6.3 Minería

6.3.1 Sulfuros

No hay indicios superficiales de sulfuros en toda la zona explorada. El yacimiento más próximo es el de Cabeza del Pasto, situado 1,5 Km. al Este de la cuadrícula, inactivo desde 1937. Entre esta fecha y 1860, época de inicio de los trabajos, la producción alcanzó unas 600.000 toneladas de pirita ferrocobrizada procedentes de dos masas denominadas "Levante" y "Poniente" y en su mayor parte de la primera de ellas, con potencia media es de 12 m. y

corrida de 175 m. Aunque faltan datos cuantitativos, las actuales reservas de este yacimiento se estiman en medio millón de toneladas.

6.3.2 Manganeseo

En el pasado se beneficiaba, en varias minas y registros, la zona de oxidación de carbonatos y silicatos de Mn asociados a afloramientos de jaspes. Hoy todas ellas se encuentran inactivas. La más importante, la Mina Isabel, se situa 2,5 Km. al SW de la cuadrícula y tiene labores hasta unos 70 m. de profundidad. Los trabajos comenzaron en el siglo pasado y en 1960 se pararon definitivamente, despues de varios periodos inactivos. La producción fué del orden de 90.000 toneladas de mineral.

6.3.3 Galena

Al Sur de la Peñita (plano 11), hay una antigua explotación filoniana de plomo argentifero, Mina Dedi, inactiva desde 1960. Se trabajaron filones postectónicos en diabasas, con ganga calcítica, por medio de labores subterráneas que alcanzaron hasta 90 m. de profundidad. La producción fué de unas 30 toneladas con 80% de Pb.

6.4 Métodos geofísicos empleados

- Método base: Calicatas Eléctricas
- Método complementario: Gravimetria

6.5 Trabajo realizado

6.5.1 Resistividades

Se han efectuado 56 Km. de perfiles de Calicatas Eléctricas trielectrónicas, con dispositivos A M20N100B y A M20N200B. La longitud de cada perfil es 2 Km. y la red de observaciones de 150 x 20 m.

El plano 12 reproduce la cuadrícula investigada que se replanteó en el terreno por medio de estaquillas numeradas. La denominación de los perfiles es correlativa con la de la Herrerías-Cabeza del Pasto (Informe de 1975).

Con las resistividades eléctricas, deducidas de la fórmula (1), se han trazado, para ambos dispositivos electrónicos, gráficos y planos isorresistivos. Los primeros representan la variación lineal (según cada perfil) de la resistividad, y los segundos su variación superficial (bidimensional).

6.5.2 Gravimetria

Las áreas eléctricamente anómalas se investigaron con 141 estaciones gravimétricas dispuestas en doce perfiles, (plano 12). Cada estación se encuentra situada en el terreno con un error inferior a ± 5 m. en la dirección del perfil.

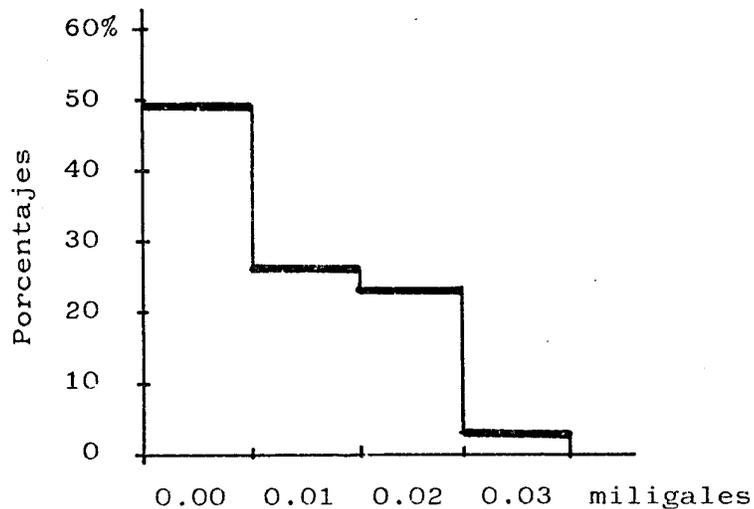
La sistemática seguida en este levantamiento es la expuesta en 5.5.1 a donde remitimos al lector para evitar repeticiones. Se han establecido dos bases relativas, estaciones 35 del perfil 3600W y -45 del perfil 5400 W

(plano 21), que se enlazaron con la base B-4 del IGME, situada en Puebla de Guzmán.

Las derivas son siempre inferiores a 0.065 miligales/hora.

La precisión de las lecturas gravimétricas, deducidas de la repetición de 43 estaciones, 20 de esta zona y 23 de la de Escarabajeras y Cumbre de las Juntas (el 13,3% del total), es de $\pm 0,004$ miligales. En la figura 8 se reproducen las diferencias observadas, como frecuencias porcentuales, para todo el trabajo gravimétrico complementario.

La línea base, para la corrección por latitud, está definida por el paralelo $37^{\circ}36'N$, que pasa por el interior de la cuadrícula, cuya constante es $0,785 \times 10^{-3}$ miligales/metro en dirección N-S.
 $0,786$



Zonas: Cabezo San Roque + La Peñita, Cumbre de las Juntas y Escarabajera.

DIFERENCIAS DE LECTURA DE GRAVIMETRO

Fig. 8

La constante de la corrección por altitud (aire libre + Bouguer), es la misma que en la Virgen de la Peña (5.5.1). La media de las diferencias absolutas de los cierres altimétricos es 21 mm., con valores extremos de 3 y 60 milímetros (fig.9).

Las correcciones topográficas son inferiores a 0.60 miligales para el 93% de las estaciones y están comprendidas entre 0,60 y 0,87 miligales para el 7% restante. La precisión de esta etapa de cálculo (ver 5.5.1) es mejor que 0,06 miligales para el 93% de las estaciones y mejor que 0.087 miligales para todo el levantamiento.

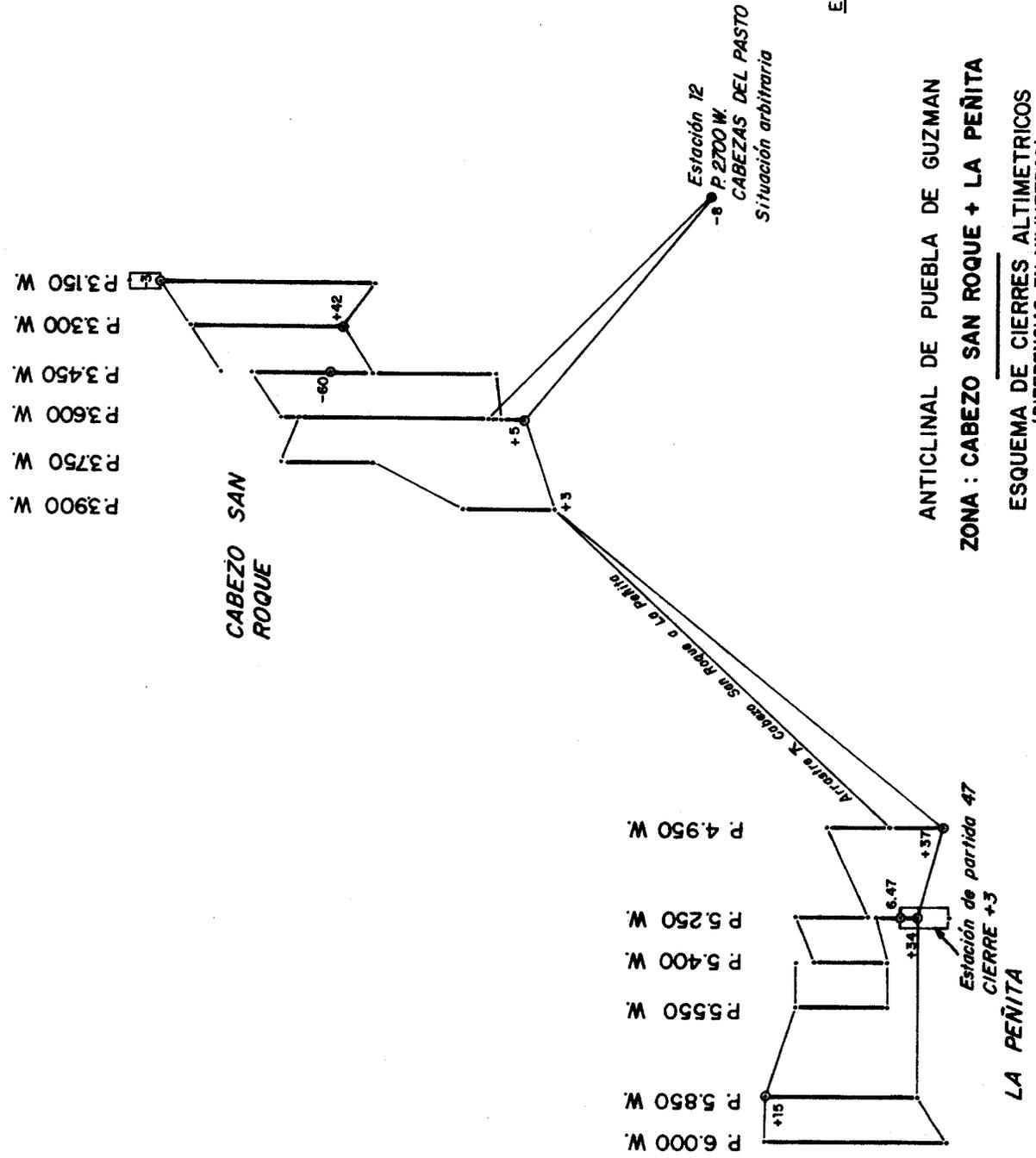
6.6 Resultados obtenidos

6.6.1 Resistividades

Las líneas isorresistivas definen estructuras alargadas casi E-W, concordantes con las geológicas correspondientes a la fase principal de plegamientos (planos 13 y 14). Transversales a ellas aparecen dos sistemas de alineaciones litoeléctricas, NNE y NNW respectivamente, que corresponden a la última fase tectónica representada principalmente por fracturas y fallas (plano 13). Para enlazar con la zona Herrerías-Cabezo del Pasto, se incluye en ambos planos el perfil 3000W, que es el más occidental de los de esta cuadrícula.

Las resistividades oscilan entre 29 y más de 1.000 ohm.m y se han trazado isolíneas para la serie de valores: 30, 50, 75, 100, 200, 325, 500, 700 y 1.000 ohm.m, que tiende a resaltar las áreas conductoras, objetivo de la

FIG.-9



investigación. Los valores más altos se encuentran en el ángulo NW de la cuadrícula y las bajas resistividades se agrupan en los parajes Cabezo San Roque y El Parador.

En los planos 13 y 14 se han diferenciado los núcleos de menor resistividad, entre los que, en función de su valor en ohm.m, se han definido nueve anomalías numeradas correlativamente y seguidas de las letras R.P., iniciales de los dos nombres propios con que se designa esta zona. Todas las anomalías y varios de los mínimos inferiores a 100 ohm.m, han sido estudiadas con gravimetría para determinar la naturaleza "metálica" o "litológica" de los cuerpos que las originan. Como en el estudio particular de cada una se compara gravimetría y resistividades, para no repetir, se analizan en el apartado 6.7, después de comentar los resultados del levantamiento gravimétrico.

6.6.2 Gravimetría

Los parajes de Cabezo San Roque y El Parador, eléctricamente anómalos, se investigaron con gravimetría y los resultados se muestran en el plano 15 como isolíneas Bouguer. Hemos restado 200 miligales a todas las lecturas.

La precisión de la Anomalia Bouguer se resume en el siguiente cuadro, en función de los errores de las diferentes etapas que comprende.

| Fuente de error | Error(ϵ) | ϵ en miligales. | ϵ^2 |
|---------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------|
| L ^a gravímetro | — | ± 0.0040 | 0.000016 |
| Latitud | ± 5 m | ± 0.0039 | 0.000015 |
| Altitud | ± 21 mm | ± 0.0042 | 0.000018 |
| Topografía | — | ± 0.0600 | 0.003600 |
| | | | $\Sigma \epsilon^2 = 0.003649$ |

En el supuesto de que todos los errores se acumulen, el valor más alto es $\pm \sqrt{0.003649} = \pm 0.060$ miligales, y prácticamente son interpretables anomalías desde 0.12 miligales si aparecen en varias estaciones. La equidistancia utilizada en el plano 15 es de 0.2 miligales, y representa 3.3 veces el "ruido" del levantamiento.

Dado el carácter complementario de este estudio, se ha empleado una red de observaciones que hace difícil el trazado de isoanómalas. No obstante, estas definen estructuras E-W acordes con la corrida de los afloramientos litológicos. La intensidad gravimétrica decrece de Sur a Norte, de acuerdo con la tendencia de los mapas peninsulares, con un gradiente de 0.9 miligales/Kilómetro.

Se han detectado tres pequeños máximos, ninguno relacionado con conductores eléctricos, que se designan con números romanos precedidos de la letra G (de gravimetría) y seguido de las iniciales R.P., como en 6.6.1.

Por la inexistencia de máximos locales destacados, las isolíneas Bouguer definen la regional de la zona. En consecuencia la anomalía residual es prácticamente nula y por este motivo no se ha representado.

6.7 Interpretación geológico-minera de las anomalías geofísicas.

Los mínimos de resistividad no coinciden espacialmente con los máximos gravimétricos. Esto se interpreta en el sentido de que ninguna de las anomalías es "metálica" y, en consecuencia, no hay mineralizaciones masivas "sensu lato" en la cuadrícula estudiada.

Estos resultados indican que los cuerpos conductores son de naturaleza litológica, constituidos en su mayor parte por pizarras grafitosas. Todas las anomalías geoeléctricas aparecen sobre pizarras, tobas y tufitas del complejo volcanosedimentario, o en el contacto de estas rocas con diabasas intrusivas.

Los máximos gravimétricos son producidos por estructuras, como el G.II-R.P. que coincide con un anticlinal, o por combinación de litología y topografía, como G.III-R.P. que coincide con un dique diabásico. El G.I-R.P. aparece en el contacto C.V.S. - Culm y su origen no está claro.

En el plano 16 se correlacionan los gráficos de Calicatas Eléctricas y Gravimetría, para los perfiles 3150W, 3300W y 5400W, que incluyen entre otros los conductores 1-R.P. y 6-R.P. y el máximo G.I-R.P. En estos gráficos se aprecia claramente que dichos conductores tienen la densidad media

de la región y que los máximos gravimétricos coinciden con medios resistivos.

6.8 Conclusiones

- 6.8.1 En el estudio de esta cuadrícula se han determinado varios conductores eléctricos y ninguno producen máximos gravimétricos. Se trata por lo tanto de pizarras grafitosas u otros conductores litológicos. Por su parte las áreas gravimetricamente anómalas son a su vez resistivas y, en consecuencia, están originadas por estructuras de núcleo denso y/o por cuerpos litológicos de mayor densidad que el medio.
- 6.8.2 No hay en toda la zona anomalías "metálicas" ni, en consecuencia, yacimientos masivos de sulfuros.

7. ZONA: "CUMBRE DE LAS JUNTAS"

7.1 Situación

Pertenece a los términos municipales de El Granado y El Almendro y limita al Oeste con Portugal. En el ángulo noroccidental confluyen las riveras Chanza (frontera portuguesa) y Malagón (plano 17).

7.2 Geología

Están presentes las tres unidades litoestratigráficas del Cinturón Pirítico.

7.2.1 Grupo P-Q

Aflora en dos puntos al Sur representado por pizarras y cuarcitas, al igual que en el resto de la región. (plano 18).

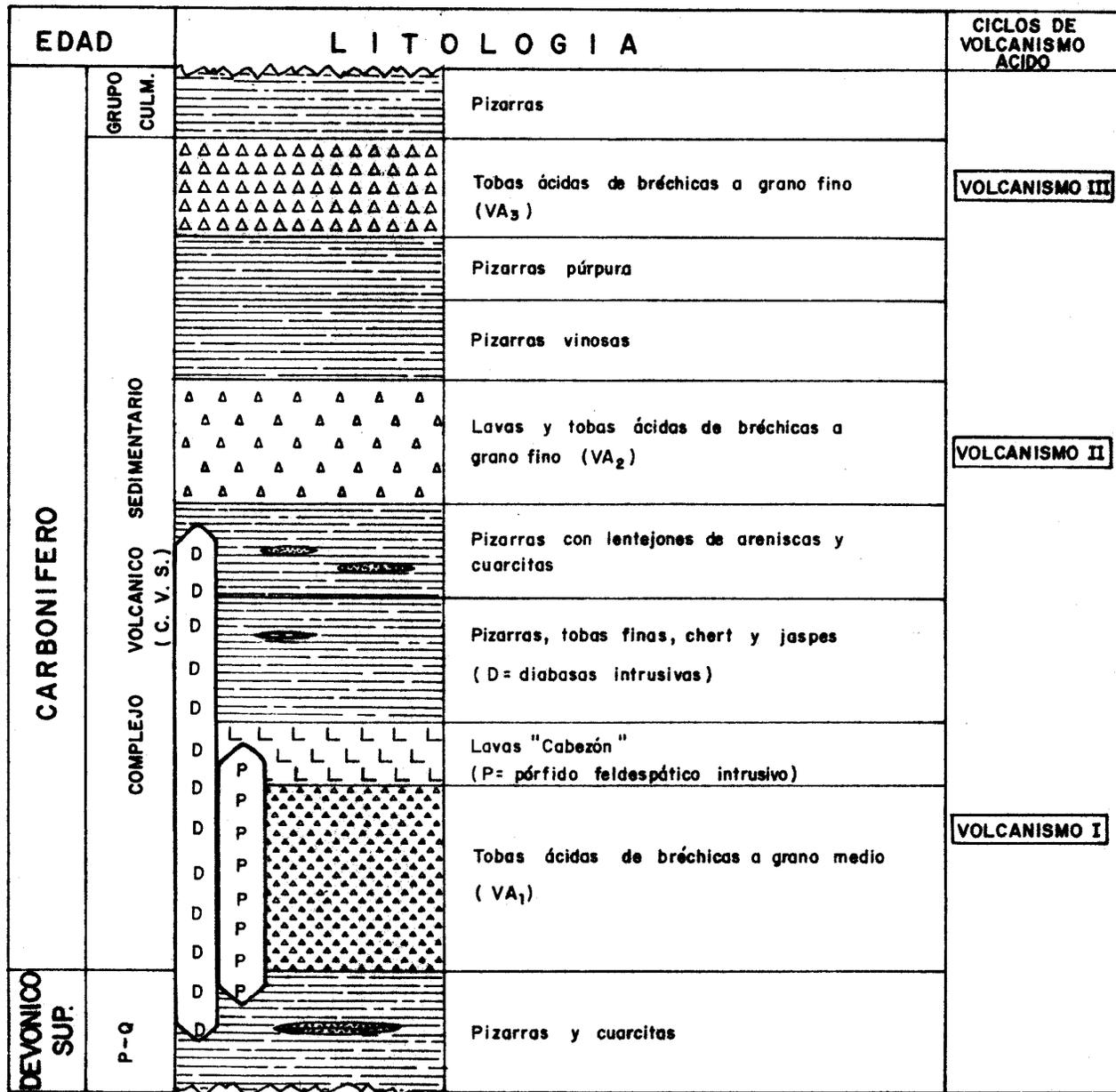
7.2.2 Complejo Volcánico Sedimentario

Se encuentra completa la serie ignea con predominio de materiales del volcanismo ácido VA_1 , sigue en importancia el ciclo VA_2 y el último (VA_3) solo aparece en los ángulos noreste y noroeste de la zona. En los tres hay preponderancia de materiales piroclásticos finos.

Importantes afloramientos de diabasas albíticas intruyen desde el techo devónico hasta el muro del segundo volcanismo (VA_2). En el SW de la cuadrícula hay dos nuevas unidades litológicas que denominamos pórfidos intrusivos (Pf) y lavas intermedias de "El Cabezón" (plano 18). Ambas están formadas principalmente por piroxeno y albita, tienen carácter porfidico, estructuras de flujo y fuerte alteración hidrotermal (cloritización, seritización, etc....). Pueden corresponder a diferentes facies de un mismo aparato volcánico.

Los materiales sedimentarios son pizarras de varios tipos, areniscas, cuarcitas, tufitas y chert, siempre con nódulos de Mn o Fe excepto cuando se trata de pizarras vinosas y púrpura que separan los ciclos segundo y tercero.

En la figura 10 se representa la secuencia litoestratigráfica correspondiente a esta zona.



ZONA : CUMBRE DE LAS JUNTAS Y ESCARABAJERAS

COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA

FIG.-10

7.2.3 Culm

Aflora en un punto exterior a la cuadrícula, en la confluencia de las riveras Chanza y Malagón, y está representado por pizarras.

7.3 Minería

No hay manifestaciones de sulfuros ni de manganeso en toda la cuadrícula. El único indicio minero, Mina María Cristina, se encuentra entre los perfiles 150E y 165E, en el paraje La Solana (plano 18), y corresponde a una mineralización filoniana de galena con ganga calcítica, que arma en diabasas intrusivas. Las primeras labores datan de 1914 y, después de una larga inactividad, se reemprenden entre 1952 y 1954, época en la que se extrajeron unas 7 toneladas de concentrado de Pb con ley del 80%. En conjunto la explotación fué reducida, según se desprende de las labores que no llegaron a 20 m. de profundidad.

7.4 Métodos geofísicos empleados

- Método base: Bloques de Resistividad
- Método complementario: Gravimetría

7.5 Trabajo realizado

7.5.1 Resistividades

La zona se estudió con 31 perfiles de 1.140 m. cada uno, agrupados en 10 bloques de 600 x 900 m. La red de observaciones es de 150 x 20 m. y en total se han medido 42 Km. de perfil.

Esta cuadrícula fué replanteada en el terreno señalando las estaciones con estaquillas de madera numeradas (plano 19). Las mediciones eléctricas se transformaron en resistividades por medio de las fórmulas (1) y (2), y con estos valores, previos los oportunos ajustes (4.3.2), se han trazado gráficos de resistividad para cada perfil y un plano de isolíneas.

7.5.2 Gravimetria

Los conductores eléctricos se investigaron con gravimetria por las razones expuestas en 4.2. Se midieron 166 estaciones en once perfiles (plano 19). Cada estación está situada en el terreno con un error estimado inferior a ± 5 m. en la dirección del perfil.

En el trabajo de campo y cálculos de gabinete se siguió la sistemática indicada en la zona "Norte Virgen de la Peña" (ver 5.5.1). Se establecieron bases en las estaciones 1 del Perfil 105W y 15 del 105E, que se enlazaron a la B-4 de absolutas de Puebla de Guzmán a través de la zona anterior y una base intermedia situada en Mina Isabel.

Las derivas son siempre inferiores a 0.055 miligales/hora.

La repetición de 43 estaciones, el 13,3% del trabajo gravimétrico complementario (6.5.2), permite calcular el error cuadrático medio de las lecturas del gravímetro, que es de ± 0.004 miligales (figura 8).

Como línea base para la corrección por latitud se tomó el paralelo $37^{\circ}35'N$, que pasa por el interior de la cuadrícula, y a la que corresponde una constante de $0,785 \times 10^{-3}$ miligales/metro N-S. 0,786

La constante de corrección por altitud es la misma que para el Norte de la Virgen de la Peña. La altitud de cada estación se determinó con un error medio de 23 milímetros (ver croquis con los cierres en figura 11).

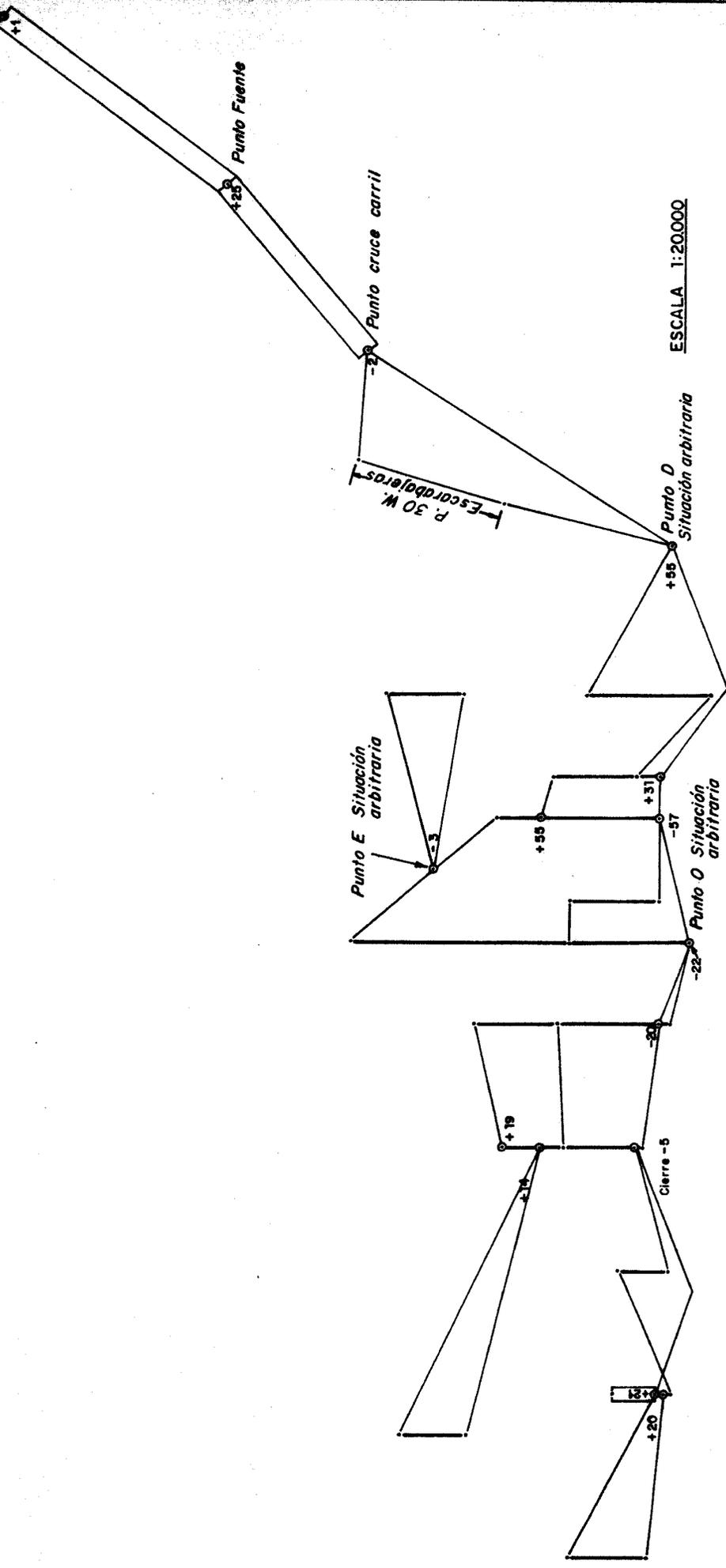
Las correcciones debidas a la topografía son inferiores a 0.6 miligales para el 84% de las estaciones; un 11% está comprendido entre 0,6 y 0,8; 3% entre 0,8 y 1,0 y 2% entre 1,0 y 1,2 miligales. Las correcciones más altas corresponden al perfil 165W. Como en los casos anteriores se admite una precisión, para esta etapa de cálculo, del orden del 10% del valor de la corrección.

7.6 Resultados obtenidos

7.6.1 Resistividades

Las líneas de igual resistividad definen estructuras E-W como las geológicas originadas en la fase principal de plegamiento. Transversales a ellas, como en la zona precedente, hemos definido dos familias de alineaciones li-toeléctricas, cuya dirección coincide con la de las fracturas y fallas originadas en la última etapa de deformación. Todas estas estructuras se reproducen en el plano nº 20, resumen de los resultados del levantamiento electrorresistivo.

Punto de Partida La Peñita
Estación -50 P. 5.250 W.



ESCALA 1:20.000

ANTICLINAL DE PUEBLA DE GUZMAN
ZONAS: CUMBRE DE LAS JUNTAS Y ESCARABAJERAS
ESQUEMA DE CIERRES ALTIMETRICOS
(DIFERENCIAS EN MILIMETROS)

Las resistividades están comprendidas entre 86 y 1.280 ohm.m y las isoclinas se han dibujado para la serie: 100, 150, 200, 250, 350, 500, 700 y 1.000 ohm.m. Los valores más altos se encuentran en el NE de la cuadrícula y las áreas conductoras aparecen por el Sur, en una banda E-W.

Dadas las dimensiones del dispositivo, se consideran anomalías las resistividades inferiores a la isoclinas de 150 ohm.m. Con este criterio se han definido once conductores, situados en el plano 20, cuyo estudio particular se efectúa después de analizar los resultados del levantamiento gravimétrico.

7.6.2 Gravimetría

De las lecturas gravimétricas, una vez realizadas todas las correcciones, hemos calculado la Anomalia Bouguer por medio de la fórmula (5) del apartado 4.3.3. La precisión de esta Anomalia se expone en el siguiente cuadro:

| Fuente de error | Error(ϵ) | ϵ en miligales. | ϵ^2 |
|---------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------|
| L ^a gravímetro | — | ± 0.0040 | 0.000016 |
| Latitud | ± 5 m | ± 0.0039 | 0.000015 |
| Altitud | ± 23 mm | ± 0.0046 | 0.000021 |
| Topografía | — | ± 0.0600 | 0.003600 |
| | | | $\Sigma \epsilon^2 = 0.003652$ |

El error máximo, para el 84% de las estaciones, es de $\pm\sqrt{\sum \epsilon^2} = \pm 0.060$ miligales, suponiendo que todos actúan en el mismo sentido. Son, por tanto, anomalías significativas desde 0.12 miligales, cuando aparezcan en varios puntos.

Las estructuras gravimétricas obtenidas son coherentes con las geológicas, aunque la red de observaciones resulta desproporcionada como consecuencia del carácter complementario de este estudio. Hemos restado 200 miligales a todas las estaciones (plano 21).

Como en las restantes zonas, y de acuerdo con la tendencia general del campo gravitatorio del SW de la Península Ibérica, este decrece hacia el Norte con un gradiente del orden de 0.9 miligales/Kilómetro.

Las isolíneas son alargadas E-W, con alguna inflexión y tres pequeños máximos en los perfiles 60E y 75E. La tendencia general es muy regular, sin anomalías locales, y las equi-miligales trazadas coinciden con la regional. En este caso la anomalía residual es prácticamente nula, y por ello no se han trazado planos con la variación de ambas componentes de la Anomalía Bouguer.

7.7 Interpretación geológico-minera de las anomalías geofísicas

La ausencia de máximos gravimétricos indica que todos los conductores de la zona son litológicos.

Los mínimos de resistividad se encuentran indistintamente sobre piroclastos del primer volcanismo, en pizarras y

tufitas supra-VA₁, y en el contacto de ambas unidades con la intrusión básica.

En el plano 22 se establece la correlación entre gráficos eléctricos y gravimétricos para los perfiles 150E, 15W, 120W y 165W, que muestran claramente que los conductores eléctricos tienen densidad del mismo orden que el medio encajante.

7.8. Conclusiones

- 7.8.1 Los mínimos de resistividad de la "Cumbre de las Juntas" no llevan asociada anomalía gravimétrica. Están originados por conductores litológicos.

Por otro lado no han aparecido máximos gravimétricos minieramente significativos.

- 7.8.2 No hay anomalías "metálicas" en toda la zona explorada y, por lo tanto, no se encuentran depósitos masivos de sulfuros en su subsuelo.

8. ZONA: "ESCARABAJERAS"

8.1 Situación

Es esta una pequeña zona, próxima a la anterior, que pertenece al término municipal de El Almendro (plano 17).

8.2 Geología (plano nº 23)

Aflora el Grupo P-Q (Devónico) y los niveles inferiores del Complejo Volcánico Sedimentario (Carbonífero Inferior).

Litológicamente el Devónico está representado por pizarras y cuarcitas. El Complejo Volcánico Sedimentario se inicia con el primer volcanismo ácido (VA_1), que aflora en una estrecha banda, con tobas de grano medio. Al Norte de los piroclastos se encuentran pizarras y tufitas, y dentro de esta serie, se ha delimitado un pequeño afloramiento de tobas finas pertenecientes al segundo volcanismo (VA_2). Siguiendo hacia el Norte aparecen pizarras con lentejones de areniscas y cuarcitas. Ambos horizontes sedimentarios tienen nódulos de Mn y Fe. Finalmente la sucesión litológica precedente se encuentra localmente intruida por diabasas.

8.3 Minería

No hay manifestación minera dentro de la cuadrícula.

8.4 Métodos geofísicos empleados

- Método base: Bloques de Resistividades
- Método complementario: Gravimetría

8.5 Trabajo realizado

8.5.1 Resistividades

La zona se cubrió con una cuadrícula de 13 perfiles,

de 600 m. de longitud, agrupados en dos bloques de 600 x 900 m. La red de observaciones es de 150 x 20 m. y en total se han medido 8.4 Km. de perfil (plano 19).

8.5.2 Gravimetria

Se realizaron 16 estaciones sobre el perfil 30W (plano 19). Todos los cálculos y correcciones se han efectuado como para la Cumbre de las Juntas.

8.6 Resultados obtenidos

8.6.1 Resistividades

En el plano 24 se reproducen los resultados del levantamiento electrorresistivo.

Las estructuras geoelectricas coinciden con las geológicas.

Las resistividades están comprendidas entre 138 y 1.070 ohm.m, y las isolíneas se han trazado para la serie: 150, 200, 250, 300, 400, 500, 750 y 1000 ohm.m.

Las áreas más conductoras se encuentran dentro de la mitad sur de la cuadrícula.

Solo aparece una anomalia geoelectrica, denominada 1E, centrada en la estación 10 del perfil 30W (plano 24).

8.6.2 Gravimetria

Para comprobar el carácter del conductor 1E se ha efectuado el perfil gravimétrico 30W. El "ruido" de este

levantamiento es inferior a 0.05 miligales. En el plano 25 se reproduce las anomalías Bouguer y regional, juntamente con las curvas de resistividad aparente. No hay máximo gravimétrico en relación con dicho conductor, por lo que la anomalía 1E es de naturaleza "litológica".

Aparece una pequeña anomalía en la estación 21, con + 0.17 miligales de intensidad residual, que supera en más de tres veces al "ruido". Este máximo lo produce un cuerpo más denso que el medio encajante, pero distinto del conductor responsable del mínimo de la estación 23, con el que no presenta correlación adecuada a pesar de su proximidad.

8.7 Interpretación geológico-minera de las anomalías

La anomalía resistiva 1E se asienta sobre pizarras y tuffitas superiores a VA₁ y está originada por pizarras grafitosas. Por su parte el máximo gravimétrico lo produce un dique de diabasas, y el conductor eléctrico pizarras del contacto Norte de la intrusión diabásica (plano 23).

8.8 Conclusiones

Tanto los mínimos de resistividad como los máximos gravimétricos detectados, son de origen litológico.

No se encuentran masas de sulfuros en el subsuelo de esta zona.

9. CONCLUSIONES GENERALES

9.1 Norte Virgen de la Peña

9.1.1 Se ha localizado una anomalía gravimétrica con dos máximos y + 0.66 miligales de residual. Su estudio geoelectrónico detecta un mínimo originado por un conductor de mayores dimensiones que los correspondientes cuerpos densos. En consecuencia, la anomalía gravimétrica tiene origen metálico, pero la geoelectrónica es en parte "metálica" y en parte "litológica".

Los cálculos gravimétricos efectuados para estimar la profundidad del cuerpo denso dan valores coherentes con los resultados geoelectrónicos (5.7).

9.1.2 Litológicamente la anomalía se encuentra sobre pizarras y tufitas sub-VA₂, en la misma posición estratigráfica que la masa de Filón Norte de Tharsis.

9.1.3 En base a las consideraciones precedentes, es muy probable que la anomalía sea producida por sulfuros. También es posible que se encuentre originada por la combinación: estructura de núcleo denso y/o intrusión básica + pizarras grafitosas. Determinar la alternativa correcta solo es posible con sondeos mecánicos.

9.2 Cabezo San Roque + La Peñita

9.2.1 Las anomalías y mínimos geoelectrónicos no tienen respuesta gravimétrica adecuada y por lo tanto están producidos por conductores litológicos. Por su parte los

máximos gravimétricos son estructurales y/o lito-topográficos.

9.2.2 No hay anomalía que cumpla las condiciones necesarias para ser "metálica" y, en consecuencia, tampoco hay yacimientos masivos de sulfuros en el subsuelo de la zona.

9.3 Cumbre de las Juntas

9.3.1 Todos los conductores son de naturaleza litológica, según confirman los resultados de la gravimetría.

9.3.2 No hay depósitos masivos de sulfuros en el subsuelo de la cuadrícula explorada.

9.4 Escarabajeras

9.4.1 Al mínimo de resistividad 1E no corresponde máximo gravimétrico. Se trata, por lo tanto, de una anomalía "litológica".

9.4.2 No hay mineralizaciones masivas de sulfuros en el subsuelo de las Escarabajeras.

10. RECOMENDACIONES

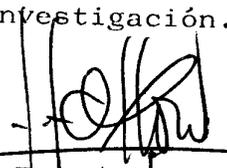
10.1 Se recomienda sondeos mecánicos para precisar la naturaleza del cuerpo que origina la anomalía 1-V, de la zona Norte Virgen de la Peña.

Un emplazamiento adecuado podria ser el siguiente:

Situación : Estación gravimétrica 8½. Perfil 8W
Dirección : NV-20E. La misma del perfil *Sentido Sur*
Inclinación : 47° con la horizontal
Longitud : 300 m.

Evidentemente tanto el emplazamiento como las características de este sondeo pueden cambiarse si el IGME lo estima oportuno. Sus resultados aconsejarán sobre el programa futuro.

10.2 No se recomienda trabajos en las otras tres zonas, dado el resultado negativo de la investigación.



F.F.A./G.K.S.

Tharsis, 30 Octubre 1978

11. BIBLIOGRAFIA

AYE, F. (1974) Géologie et gites métallifères de la moyenne vallée de l'Odiel (Huelva-Espagne). Tesis Doctoral. Universidad Pierre et Marie Curie. Paris.

FDEZ. ALONSO, F.; LÓPERA CABALLERO, E.; MADEL, J. (1975) Investigación geofísica en el área Herrerías - Cabezas del Pasto. Informe de MIBASA para el IGME.

FDEZ. ALONSO, F. (1977) Los yacimientos de sulfuros del flanco Sur del Anticlinal de Tharsis (Huelva). Métodos de investigación y resultados obtenidos. Universidad Complutense. Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid.

LECOLLE, M. (1970) Note préliminaire sur le métamorphisme et le tectonique de la Province pyrito-cuprifère d'Huelva (Espagne). Consequences a l'échelle régionale. C.R. Acad. Sc. Paris. T. 272.

LOPERA CABALLERO, E.; MADEL, J.; SANTOS BONAÑO, A. (1975) Estudio geológico-minero a escala 1:10.000 en el flanco Norte del Anticlinal de Puebla de Guzmán. Informe de MIBASA para el IGME.

STRAUSS, G.K.; MADEL, J.; FDEZ. ALONSO, F. (1974) La Faja Piritica Hispano-Portuguesa y el papel de la Geología en su prospección minera. Industria Minera nº 149. Madrid.

STRAUSS, G.K.; MADEL, J.; FDEZ. ALONSO, F. (1977) Exploration Practice for Strata-Bound Volcanogenic Sulphide Deposits in the Spanish-Portuguese Pyrite Belt: Geology, Geophysics and Geochemistry. Time-and Strata-Bound Ore Deposits. Springer-Verlag. Berlin.