

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

*Dirección General de Minas y de la Construcción*

LEVANTAMIENTO GRAVIMETRICO DE LA PARTE OCCIDENTAL

DE LA RESERVA DEL ESTADO "ZONA DE HUELVA"

Marzo, 1989

50064

EL PRESENTE ESTUDIO HA SIDO REALIZADO POR  
UN EQUIPO DE LA CATEDRA DE METALOGENIA E  
INVESTIGACION DE YACIMIENTOS MINERALES DE  
LA ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
DE MINAS DE MADRID, DIRIGIDO POR:

D. FLORENCIO FERNANDEZ ALONSO Y  
D. FERNANDO VAZQUEZ GUZMAN

## INDICE GENERAL

=====

	Pag. nº
1. INTRODUCCION	1
2. ENCUADRE GENERAL DEL AREA ESTUDIADA	1
3. OBJETIVOS Y CONDICIONAMIENTOS DE LOS TRABAJOS	4
4. ADQUISICION DE DATOS	5
4.1 Procedentes de las empresas adjudicatarias	5
4.2 Medidos directamente en campo	7
4.3 Estaciones tratadas	7
5. ELABORACION DE LA CAMPAÑA DE CAMPO	7
5.1 Topografía	7
5.2 Gravimetría	8
5.2.1 Puesta a punto del gravímetro	8
5.2.2 Red de bases	8
5.2.3 Correcciones y controles de calidad	10
6. HOMOLOGACION DE LOS DATOS DE LAS EMPRESAS	12
7. PRECISION DEL LEVANTAMIENTO	14
8. ANOMALIA DE BOUGUER	15
9. INTERPRETACION MINERO-ESTRUCTURAL	18
10. ESTUDIO CRITICO DE LAS PRINCIPALES ANOMALIAS: AREAS DE INTERES PREFERENTE	20

	Pag. nº
10.1 Hoja 937-I: La Joya. Plano 11	21
10.1.1 Area anómala 1	21
10.1.2 Area anómala 2	22
10.1.3 Area anómala 3	22
10.2 Hoja 937-II: Valdelamusa. Plano 12	23
10.2.1 Area anómala 1	23
10.2.2 Area anómala 2	23
10.2.3 Area anómala 3	24
10.2.4 Area anómala 4	25
10.2.5 Area anómala 5	25
10.3 Hoja 937-III: Cabezas Rubias. Plano 13	26
10.3.1 Area anómala 1	26
10.3.2 Area anómala 2	26
10.3.3 Area anómala 3	27
10.4 Hoja 959-I: Villanueva de las Cruces. Plano 15	27
10.4.1 Area anómala 1	27
10.4.2 Area anómala 2	28
10.5 Hoja 959-II: Calañas. Plano 16	28
10.5.1 Area anómala 1	28
10.5.2 Area anómala 2	29
10.6 Hoja 959-III: Alosno. Plano 17	30
10.6.1 Area anómala 1	30
10.6.2 Area anómala 2	30
10.6.3 Area anómala 3	31
10.7 Hoja 959-IV: Los Cristales. Plano 18	31
10.7.1 Area anómala 1	31
10.7.2 Area anómala 2	32
10.7.3 Area anómala 3	32

Pag. nº

10.7.4 Area anómala 4	32
11. CONCLUSIONES	33
12. RECOMENDACIONES	34

=====

## INDICE DE FIGURAS

=====

Pag. nº

Fig. 1	División en bloques de la Reserva "Zona de Huelva" (1981) y Empresas Adjudicatarias (1982)	3
" 2	Derivas dinámicas del gravímetro WORDEN PROSPECTOR nº 894	9
" 3	Red de bases graviméricas	11
" 4	Control de calidad de las observaciones gravimétricas	13

=====

INDICE DE PLANOS  
=====

- Plano 1      Anomalía de Bouguer. Hoja 937-I: La Joya  
              Escala 1:25.000
- " 2          Anomalía de Bouguer. Hoja 937-II: Valdelamusa  
              Escala 1:25.000
- " 3          Anomalía de Bouguer. Hoja 937-III: Cabezas Rubias  
              Escala 1:25.000
- " 4          Anomalía de Bouguer. Hoja 937-IV: El Cerro de Andévalo  
              Escala 1:25.000
- " 5          Anomalía de Bouguer. Hoja 959-I: Villanueva de  
              las Cruces. Escala 1:25.000
- " 6          Anomalía de Bouguer. Hoja 959-II: Calañas  
              Escala 1:25.000
- " 7          Anomalía de Bouguer. Hoja 959-III: Alosno  
              Escala 1:25.000
- " 8          Anomalía de Bouguer. Hoja 959-IV: Los Cristales  
              Escala 1:25.000
- " 9          Anomalía de Bouguer. Hoja 1:50.000 nº 937  
              (El Cerro de Andévalo)
- " 10         Anomalía de Bouguer. Hoja 1:50.000 nº 959 (Calañas)
- " 11         Interpretación estructural de la Anomalía de Bouguer.  
              Hoja 937-I. La Joya

- Plano 12 Interpretación estructural de la Anomalía de Bouguer. Hoja 937-II: Valdelamusa
- " 13 Interpretación estructural de la Anomalía de Bouguer. Hoja 937-III: Cabezas Rubias
- " 14 Interpretación estructural de la Anomalía de Bouguer. Hoja 937-IV: El Cerro de Andévalo
- " 15 Interpretación estructural de la Anomalía de Bouguer. Hoja 959-I: Villanueva de las Cruces
- " 16 Interpretación estructural de la Anomalía de Bouguer. Hoja 959-II: Calañas
- " 17 Interpretación estructural de la Anomalía de Bouguer. Hoja 959-III: Alosno
- " 18 Interpretación estructural de la Anomalía de Bouguer. Hoja 959-IV: Los Cristales

=====



INDICE DE APENDICES  
=====

Apéndice nº 1      *Fichas de las Bases Gravimétricas*

"      "      2      *Anomalia de Bouguer. Listados de ordenador*

=====

## 1. INTRODUCCION

El Ministerio de Industria y Energía, a través de la Dirección General de Minas y de la Construcción, consciente de la eficacia del Método Gravimétrico de Prospección Geofísica para localizar nuevas masas ocultas de sulfuros polimetálicos en la Faja Pirítica, ha elaborado un mapa gravimétrico de la mitad occidental de la Reserva a favor del Estado "Zona de Huelva", como primera fase de un programa más ambicioso que contempla extender estos trabajos al resto de la Reserva, y, si ello es posible, a la totalidad de la parte española de dicha provincia metalogénica, propiciando, en colaboración con la Dirección General de Minas de Portugal, la confección de un mapa gravimétrico de toda la Faja Pirítica Ibérica.

En este informe se recogen los trabajos realizados, resultados obtenidos y conclusiones prácticas deducidas de la interpretación, en términos geológico-mineros, del levantamiento gravimétrico efectuado en dicho sector occidental.

## 2. ENCUADRE GENERAL DEL AREA ESTUDIADA

La Reserva del Estado "Zona de Huelva" fué creada en 1943 y, tras varias modificaciones tanto en lo relativo a límites como a sustancias reservadas, se establece en 1961 la reserva definitiva para piritas de hierro y ferrocobrizas, pizarras y pórfidos cupríferos y azufrones de los términos municipales de: Cabezas Rubias, Cortegana (jurisdicciones de Garnacha y Valdelamusa), Almonaster

la Real, Campofrío, Calañas, Zalamea la Real, El Cerro de Andévalo, Valverde del Camino, Villanueva de las Cruces, Alosno y Campillo, todos de la provincia de Huelva, delimitando el perímetro indicado en la fig. 1 con una superficie total de 188.100 Ha.

Con estos límites y superficie llega la Reserva a nuestros días, aunque cubriendo, desde 1969, toda clase de sustancias minerales excluidos los hidrocarburos fluídos y las rocas bituminosas.

En 1969 la superficie reservada se divide, por primera vez, en 24 bloques cuya investigación se encomienda a empresas mineras establecidas en la zona.












Finalmente, en 1981 (Orden Ministerial de 12 de Marzo, B.O.E. 22-4-81) la Reserva se divide de nuevo, en esta ocasión son 27 los bloques delimitados por paralelos y meridianos (Greenwich), autorizándose a la Dirección General de Minas su adjudicación, mediante concurso, a empresas españolas y extranjeras, solas o asociadas, interesadas en investigar sus recursos minerales. En la fig. 1 se indica la adjudicación de bloques o fracciones a las distintas empresas que se presentaron al concurso (B.O.E. de 19.5.82).

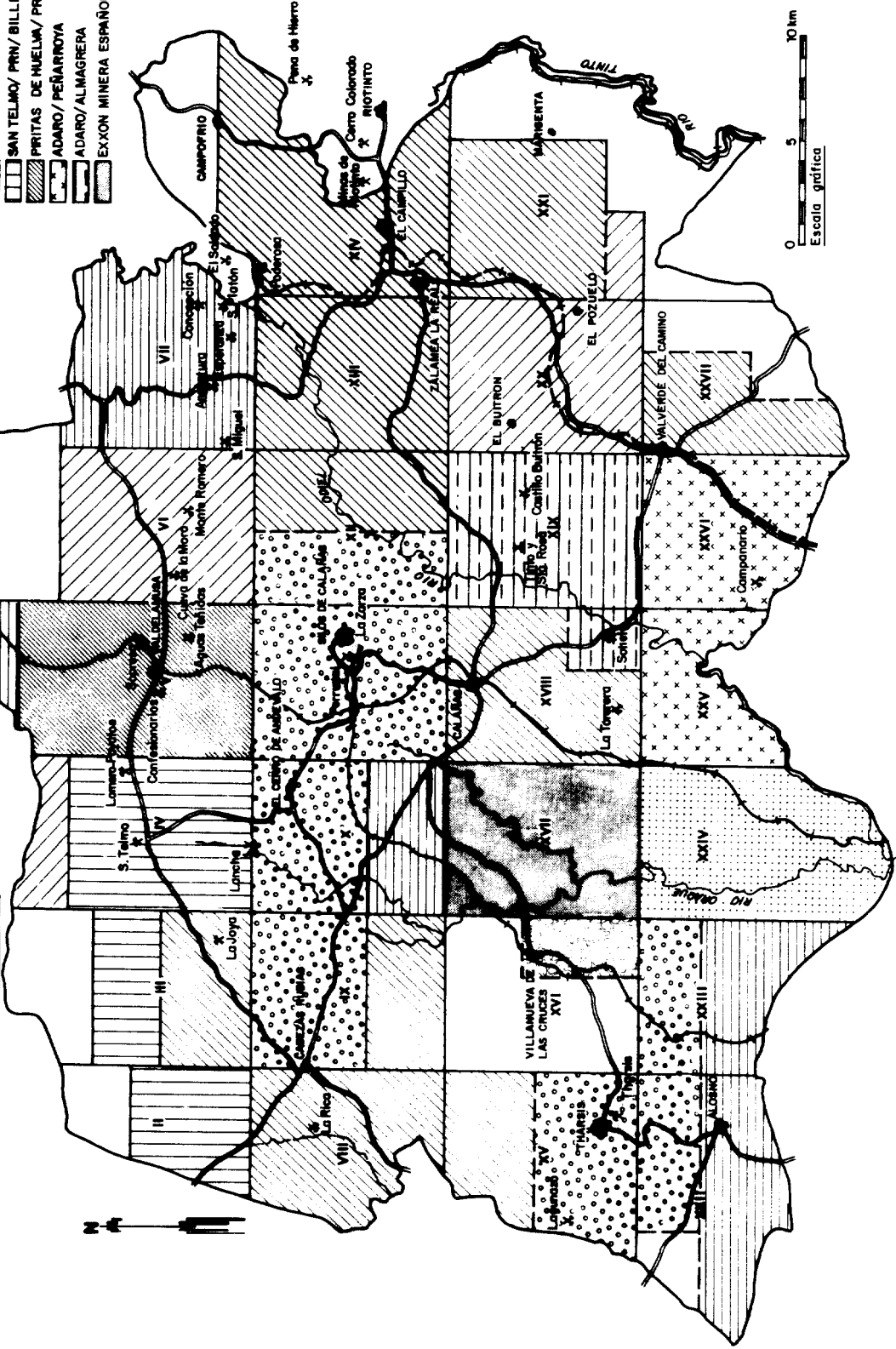
El Sector Occidental de la Reserva, donde se centra la presente investigación, coincide prácticamente con la superficie delimitada por las hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 nº 937 (El Cerro de Andévalo) y 959 (Calañas).

Geológicamente pertenece al dominio de la Faja Pirítica, importante provincia metalogenia que se extiende por el suroeste peninsular y comprende materiales devónico-carboníferos, con pizarras, cuarcitas y grauvacas como litologías dominantes y, en menor proporción, volcanitas ácidas y básicas alternando a interdigitadas con sedimentos detríticos formando, en conjunto, un complejo volcanosedimentario que constituye el horizonte portador de grandes masas estratiformes de sulfuros polimetálicos y de manganeso.

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA  
 DIRECCION GENERAL DE MINAS Y DE LA CONSTRUCCION

**LEVANTAMIENTO GRAVIMETRICO DE LA PARTE OCCIDENTAL  
 DE LA RESERVA "ZONA DE HUELVA"**

- ADJUDICACION 1982**
-  RIO TINTO MINERA, S.A.
  -  PHELPS-DODGE/SEVILLE METALS/HERRERIAS
  -  PHELPS-DODGE/SEVILLE METALS/ASTURIANA DE ZINC
  -  CHARTER/TOLSA
  -  PEÑARRROYA
  -  THARSIS - NEWMONT
  -  SAN TELMO/ PRN/ BILLITON
  -  PRITAS DE HUELVA/ PRN/ BILLITON
  -  ADARO/ PEÑARRROYA
  -  ADARO/ ALMAGRA
  -  EXXON MINERA ESPAÑOLA



**DISTRIBUCION DE BLOQUES (1981)**

Dentro del ámbito del levantamiento se encuentran las minas de Tharsis, Lagunazo, La Joya, El Perrunal, San Telmo, Lomero-Poyatos y Confesionarios, entre otras de menos importancia (fig. 1), casi todas trabajadas desde tiempos prehistóricos.

Esta concentración de yacimientos pone de relieve el elevado potencial minero del sector estudiado.

### 3. OBJETIVOS Y CONDICIONAMIENTOS DE LOS TRABAJOS

Con estos trabajos la Dirección General de Minas y de la Construcción se propone aunar toda la información gravimétrica entregada por las diferentes empresas adjudicatarias de bloques, completando con un levantamiento propio las "lagunas" sin datos existentes entre áreas seleccionadas por aquellas para estudios de detalle.

Todos los datos disponibles, adecuadamente elaborados y tratados para lograr su homogeneización, conforme a la buena práctica de la gravimetría minera, permiten contemplar, en un plano único, el relieve de la gravedad de todo el sector, logrando así por primera vez un documento objetivo y básico cuya interpretación minero-estructural ayudará, tanto a empresas privadas como a organismos públicos, a localizar y delimitar nuevas áreas de interés preferente en las cuales concentrar investigaciones geológicas y geofísicas detalladas.

Para alcanzar estos objetivos, ha sido necesario reelaborar los datos gravimétricos para adaptarlos a las siguientes condiciones técnicas:

- En cada estación la planimetría se refiere al sistema de proyección UTM y la altimetría al nivel del mar por intermedio de la Red Geodésica Nacional (R.G.N.)
- Los valores de la gravedad se enlazaron a la Red Gravimétrica Fundamental Española de 1973 (R.G.F.E.-73) y por lo tanto

y a través de ella, a la I.G.S.N. 71 (International Gravity Standardization Net 1971).

- La corrección del relieve se ha extendido hasta la zona M de Hammer (radio externo 21.950 m.).
- La gravedad normal utilizada es la definida por la Fórmula Internacional de 1967.
- Se adopta, como densidad de reducción, el valor de 2.60 gr./cm<sup>3</sup>.

#### 4. ADQUISICION DE DATOS

##### 4.1 *Procedentes de las empresas adjudicatarias*

Se han utilizado datos de las empresas incluídas en el cuadro 1, ordenadas, en base a su área de trabajo, de oeste a este y de norte a sur. En cada caso se indica la hoja topográfica y el bloque o bloques adjudicados.

También se incluye en dicho cuadro el ITGE con el estudio regional de la hoja de Calañas (nº 959), cuyos datos se han utilizado como relleno y enlace entre cuadrículas de detalle de la referida hoja topográfica.

En conjunto se han manejado unas 14.000 estaciones, correspondiendo la mayor parte a estudios detallados según mallas con dimensiones: 200 x 200; 200 x 100; 200 x 50; 100 x 100 y 50 x 50 metros principalmente. De todas ellas en los planos gravimétricos se incluyen algo menos de la mitad y, ante tal cúmulo de datos, se decidió adoptar la escala 1:25.000 para su representación, en lugar de la inicialmente programada (1:50.000) que resulta demasiado grande. No obstante y para mostrar una panorámica de conjunto, se reune en dos planos reducidos a dicha escala 1:50.000 todo el levantamiento. Las mallas resultantes tienen dimensiones de 400 x 200; 200 x 200; 200 x 100 y 100 x 100 m. (ver planos gravimétricos).

CUADRO 1.- DATOS GRAVIMETRICOS PROCEDENTES DE  
EMPRESAS ADJUDICATARIAS Y DEL ITGE

EMPRESA O GRUPO DE EMPRESAS	HOJA 1:50.000	BLOQUES
BILLITON ESPAÑOLA S.A. PROMOTORA DE RECURSOS NATURALES S.A. SAN TELMO IBERICA MINERA S.A.	937	II Y III
BILLITON ESPAÑOLA S.A. PROMOTORA DE RECURSOS NATURALES S.A. PIRITAS DE HUELVA S.A.	937	IV y V
RIO TINTO MINERA S.A.	937	III, VIII y IX
COMPAÑIA ESPAÑOLA DE MINAS DE THARSIS S.A. NEWMONT ESPAÑOLA S.A.	937 y 959	XI, XV, XVI, XXII y XXIII
SOCIEDAD MINERA Y METALURGICA DE PEÑARROYA ESPAÑA S.A.	959	XXII y XXIII
EXXON MINERA ESPAÑOLA S.A.	959	XVI y XVII
CHARTER EXPLORACIONES S.A. TOLSA S.A.	959	XXIV
EMPRESA NACIONAL ADARO DE INVESTIGACIONES MINERAS S.A.	959	XXV
INSTITUTO TECNOLOGICO Y GEOMINERO DE ESPAÑA	959	Estudio regional de toda la hoja

#### 4.2 *Medidos directamente en campo*

Las áreas sin datos de gravedad existentes entre las cuadrículas de detalle de la hoja de El Cerro de Andévalo (nº 937) fueron cubiertas directamente por la Dirección General de Minas y de la Construcción por medio de una campaña de 400 estaciones, que representan una densidad media de 1,5 estaciones/Km<sup>2</sup>.

#### 4.3 *Estaciones tratadas*

Finalmente, de una y otra procedencia, en el Sector Occidental de la Reserva se incluyen 6.600 estaciones con valor de la gravedad, que representan una cobertura media de seis estaciones por kilómetro cuadrado.

### 5. ELABORACION DE LA CAMPAÑA DE CAMPO

Se ajusta al condicionado incluido al final del apartado 3. y la metodología aplicada se expone a continuación

#### 5.1 *Topografía*

Para determinar la posición de las estaciones, en coordenadas UTM, y su altitud, referida al nivel del mar, se utilizó el método de itinerarios encuadrados entre vértices de la R.G.N. de la zona, para implantar otros secundarios que, conjuntamente con aquellos, se utilizaron para radiar a las estaciones gravimétricas. Localmente, y ante la imposibilidad de visar desde ninguno de los vértices disponibles, debido al relieve del terreno, ciertos puntos situados en carreteras, se efectuaron itinerarios secundarios encuadrados entre estaciones radiadas. La nivelación en dichos itinerarios secundarios se realizó por alturas para obtener una precisión similar a la de los puntos extremos.

Todos los vértices se corrigieron por presión y temperatura, e igualmente se realizaron correcciones por esfericidad, refracción y proyección.



Las mediciones de campo se efectuaron con los siguientes instrumentos: teodolito de segundos THEO 010B de ZEISS; distanciómetro laser PLUSAR 50 de FENNEL y nivel NAK 1 de WILD. La comunicación entre topógrafo y ayudantes se realizó con radioemisoras GREAT y los cálculos y correcciones se efectuaron en el gabinete con una computadora FX-730 P de CASIO.

El error cuadrático del levantamiento, deducido de las diferencias de cierre observadas, es de  $\pm 0.15$  m. en X;  $\pm 0.18$  m. en Y (aproximadamente latitud) y  $\pm 0.095$  m. en altura (Z).

## 5.2 *Gravimetría*

### 5.2.1 *Puesta a punto del gravímetro*

Se inicia el trabajo comprobando la constante de escala del gravímetro WORDEN PROSPECTOR nº 894 en la línea de calibrado Virgen de la Peña-Puebla de Guzmán establecida al efecto en 1983, obteniéndose un valor de 0.10723 miligales/división de escala.

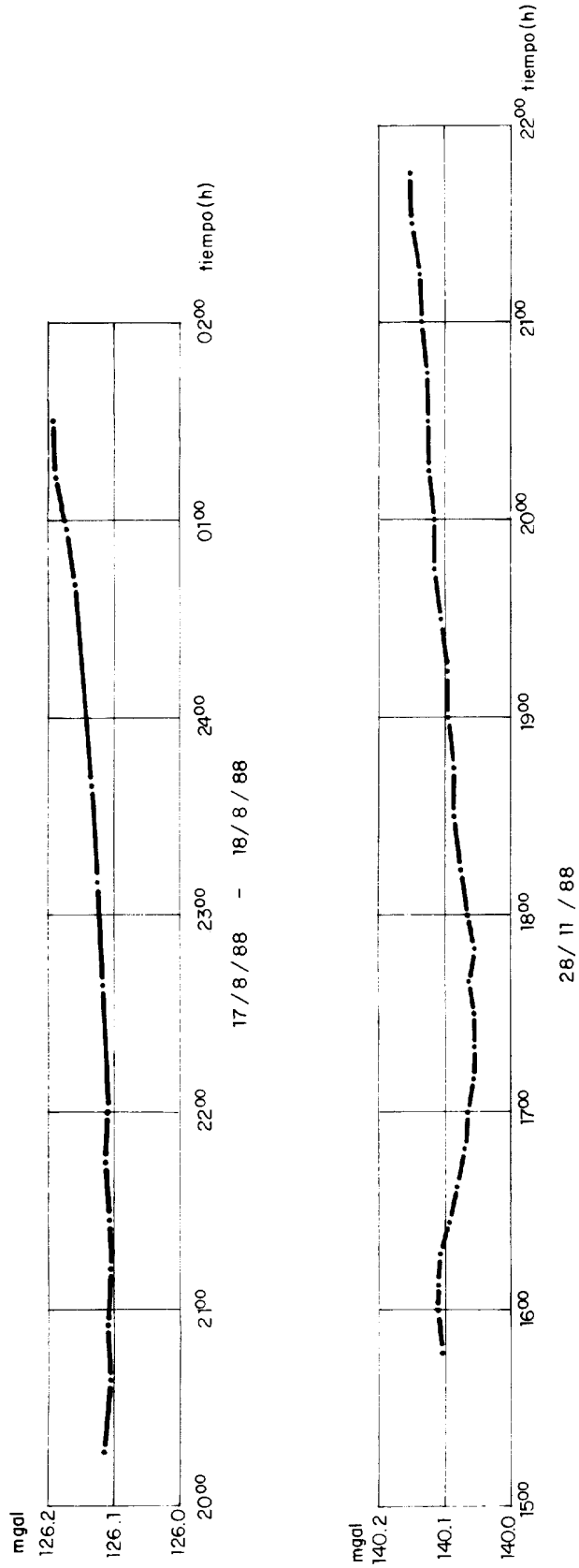
Al comienzo de cada una de las dos etapas en que se dividió la campaña de campo se comprobó la deriva dinámica propia del gravímetro en punto fijo, obteniéndose en ambas una deriva de 0.002 miligales/hora. (fig. 2).

### 5.2.2 *Red de bases*

Con motivo de este levantamiento se implantaron dos nuevas bases denominadas C.A.0 y C.A.1, enlazadas con V.1 y S.T.0 ya establecidas con antelación. Además de las mencionadas bases hemos utilizado la S.T.1.

Todas ellas se encuentran referidas a la R.G.F.E.-73 por intermedio de las bases de Huelva y Ayamonte que forman parte de la Red

**MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA**  
**DIRECCION GENERAL DE MINAS Y DE LA CONSTRUCCION**  
**LEVANTAMIENTO GRAVIMETRICO DE LA PARTE OCCIDENTAL**  
**DE LA RESERVA "ZONA DE HUELVA"**



**DERIVAS DINAMICAS DEL GRAVIMETRO WORDEN PROSPECTOR N° 894**

Fundamental.

En la fig. 3 se muestran las bases antes citadas así como las res tan tes que arrastran hasta la zona que nos interesa los valores absolutos de la gravedad. En dicha figura pueden verse los errores de cierre de cada polígono, su compensación y las diferencias de gravedad entre vértices contiguos de la poligonal utilizada.

En el Apéndice 1 se incluye la ficha de cada base que afecta a la zona estudiada, indicando coordenadas UTM y altitud absoluta toma das ambas de planos 1:25.000, breve descripción de su emplazamiento, croquis de situación, fotografía y valor absoluto de la grave dad apreciado hasta las centésimas. También se incluye un plano con los emplazamientos, a escala 1:50.000, de dichas bases (plano 1-A).

### 5.2.3 *Correcciones y controles de calidad*

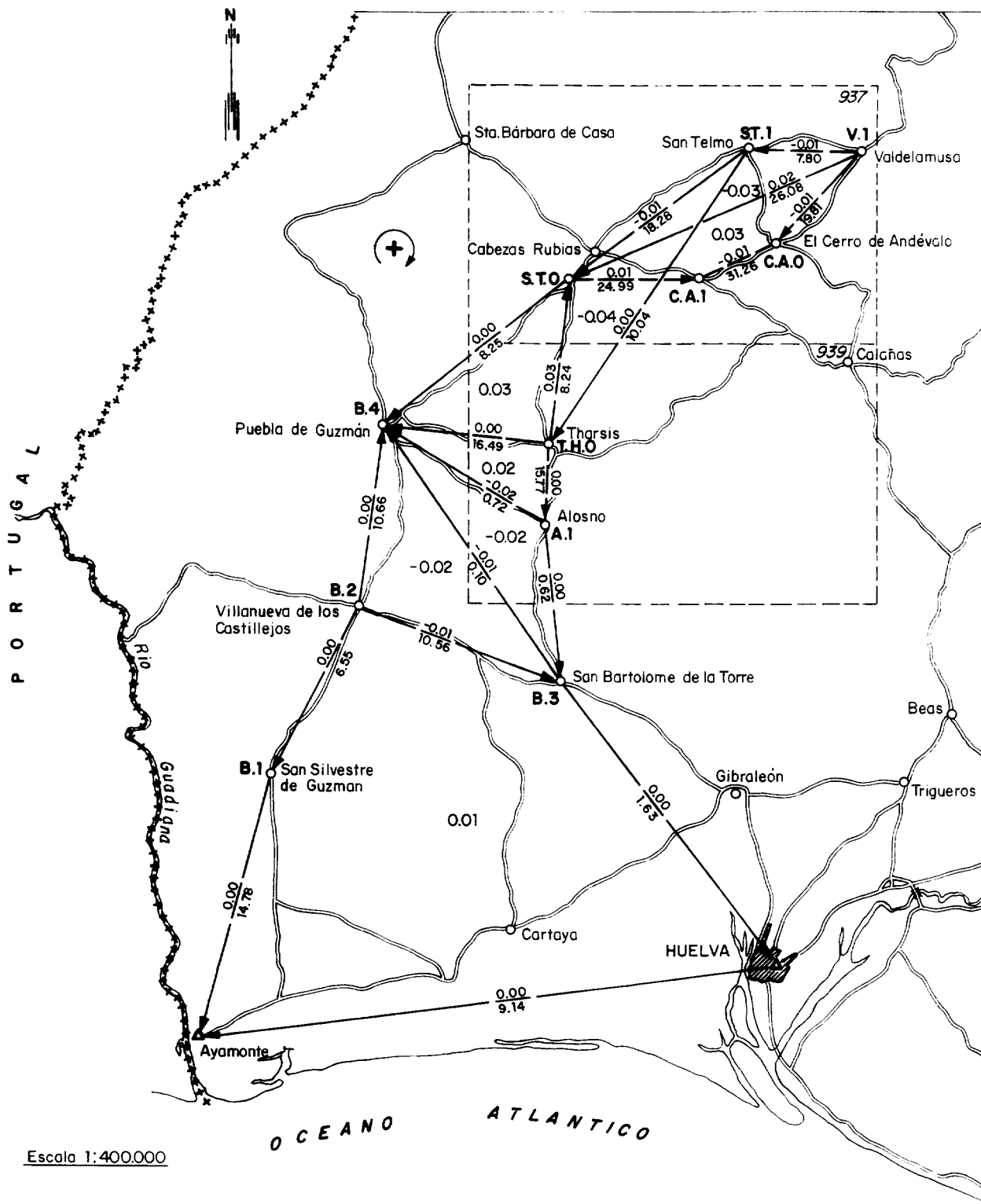
Todas las lecturas fueron corregidas de influencia luni-solar y deriva instrumental.

La corrección topográfica se calculó por el método de Hammer de la siguiente manera:

- Zonas B, C y D de "visu" en campo
- Zonas E, F, G, H e I desde planos 1:25.000 con curvas de nivel cada 10 m.
- Zonas J, K, L y M desde planos 1:200.000, con curvas de nivel cada 100 m., siguiendo la metodología de Neumann con malla cu adr ada de 3 Km. de lado.

Para controlar la calidad, tanto de las medidas gravimétricas como de la corrección topográfica, se repitieron algo más del 10 % de

**LEVANTAMIENTO GRAVIMETRICO DE LA PARTE OCCIDENTAL  
 DE LA RESERVA "ZONA DE HUELVA"**



Escala 1:400.000

**RED DE BASES GRAVIMETRICAS**

las estaciones. En la fig. 4 se reproduce el gráfico acumulado de frecuencias porcentuales de las diferencias observadas en las lecturas repetidas del gravímetro. La mediana vale 0.025 mgal y el error cuadrático medio es  $\pm 0.0269$  mgal, parámetros ambos que confirman la excelente calidad del trabajo de campo.

En cuanto al efecto de relieve la repetición tanto de campo, (zonas B, C y D) como de plantillas en plano 1:25.000 (zonas E a I) proporcionan un error cuadrático medio de  $\pm 0.032$  mgal, que puede alcanzar  $\pm 0.04$  mgal incluyendo la incidencia estimada de la corrección a larga distancia (zonas J a M).

#### 6. HOMOLOGACION DE LOS DATOS DE LAS EMPRESAS

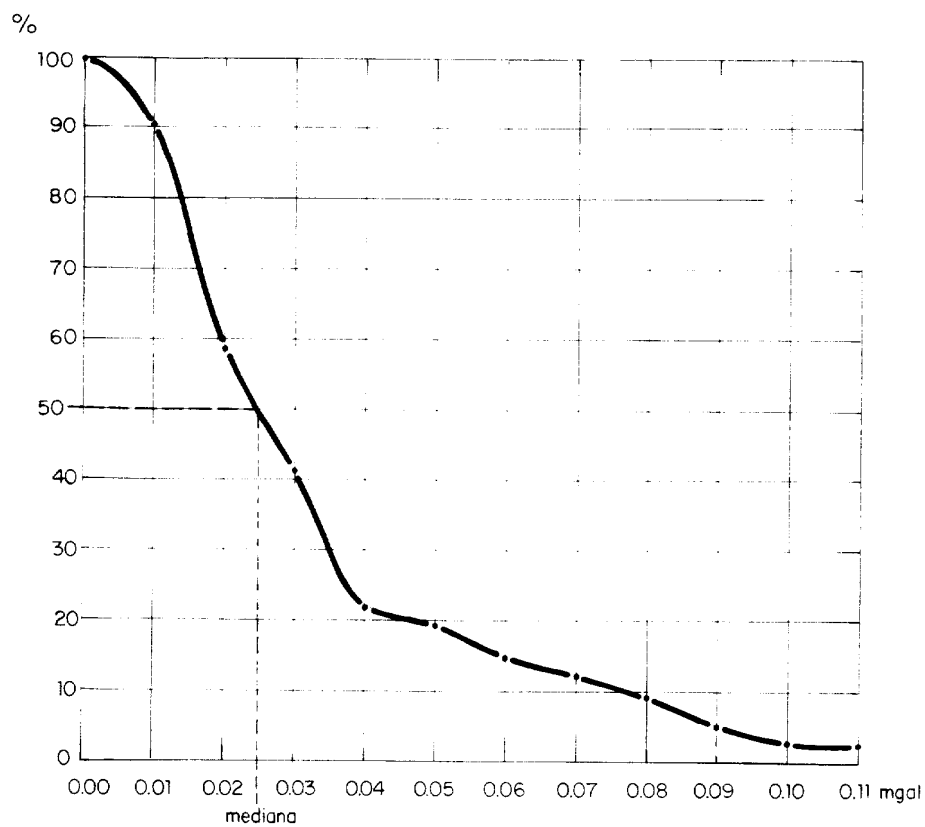
Los levantamientos de las áreas investigadas por las diferentes empresas se ajustan a criterios muy diversos. Así, en topografía algunos están referidos a coordenadas Lambert e incluso locales, y las altitudes no siempre se encuentran relacionadas con el nivel del mar; en gravimetría a veces refieren los valores de  $g$  a "datum" arbitrario, la corrección topográfica termina en las zonas F (radio máximo 895 m.) o H (radio máximo 2.615 m.) de Hammer, utilizan gradientes de latitud constantes o valores de gravedad normal no ajustados a fórmulas internacionales y densidades de reducción diferentes de 2.60 gr./cm<sup>3</sup>. Finalmente en algunos casos se siguen con exactitud las condiciones expuestas en el apartado 3.

Todo esto motiva que los valores calculados para la gravedad Bouguer en las distintas cuadrículas no sean homogéneos y, en consecuencia, no se puede, con estos datos, elaborar un plano gravimétrico del sector.

Para eliminar estos defectos, con los datos procedentes de las empresas adjudicatarias, se ha procedido de la siguiente manera:

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA  
DIRECCION GENERAL DE MINAS Y DE LA CONSTRUCCION

LEVANTAMIENTO GRAVIMETRICO DE LA PARTE OCCIDENTAL  
DE LA RESERVA "ZONA DE HUELVA"



CONTROL DE CALIDAD DE OBSERVACIONES GRAVIMETRICAS  
— GRAFICO DE FRECUENCIAS ACUMULADAS —

De todas las estaciones se toman exclusivamente los valores de planimetría, altimetría y gravedad medidos en campo. Si no lo están, se enlazan por medio de trabajos complementarios con la R.G.N. y la R.G.F.E.-73 para referirlos al nivel del mar en cotas y a valores absolutos de gravedad. Cuando es necesario, a partir de las coordenadas Lambert o locales de cada estación se calculan sus equivalentes en el sistema UTM y la corrección topográfica se amplía hasta la zona M de Hammer.

Con estos cálculos y correcciones, elaborados en un ordenador IBM, se ha creado un fichero de datos homogéneo entre sí, con el levantamiento de la hoja de Calañas y con la campaña gravimétrica ahora realizada por la Dirección General de Minas y de la Construcción en la hoja de El Cerro de Andévalo.

A partir de dicho fichero es ya posible calcular la Anomalía de Bouguer unificada para todo el Sector Occidental de la Reserva.

#### 7. PRECISIÓN DEL LEVANTAMIENTO

Es función de los errores cometidos en las distintas etapas de medida, necesarias para establecer los valores de la gravedad, que se resumen a continuación:

- a) Lectura de gravímetro
- b) Situación de la estación = latitud
- c) Altura de la estación = altitud
- d) Evaluación del efecto topográfico

Con referencia a la campaña efectuada en la hoja de El Cerro de Andévalo, la precisión del levantamiento, se resume en el siguiente cuadro:

CUADRO 2.- PRECISION DEL LEVANTAMIENTO EFECTUADO  
EN LA HOJA DE EL CERRO DE ANDEVALO

Fuente de error	Error $\epsilon$	$\epsilon$ en mgal	$\epsilon^2$
Lectura gravímetro	$\pm 0.0269$ mgal	$\pm 0.0269$	0.00072361
Latitud	$\pm 0.18$ m.	$\pm 0.0001415$	0.00000002
Altitud	$\pm 0.095$ m.	$\pm 0.018997$	0.00036089
Topografía	$\pm 0.04$ mgal	$\pm 0.04$	0.00160000

$$\sum \epsilon^2 = 0.00268452$$

El error medio cuadrático ( $E_c$ ) es por tanto:

$$E_c = \pm \sqrt{0.00268452} = \pm 0.0518 \text{ mgal.}$$

y en consecuencia son interpretables anomalías desde  $\pm 0.13$  miligales que representan el error máximo ( $E_m$ ).

Aún cuando la precisión de los levantamientos de las cuadrículas incluídas en ambas hojas topográficas sea igual o incluso mayor que la aquí obtenida, parece razonable elevar hasta  $\pm 0.20$  miligales el error máximo del levantamiento de todo el Sector Occidental de la Reserva, debido a inhomogeneidades residuales que aun persisten, originadas por la multiplicidad tanto de vértices geodésicos como de bases gravimétricas en que se apoyan dichos trabajos. Estas inhomogeneidades se manifiestan preferentemente en los bordes de cada cuadrícula.

#### 8. ANOMALIA DE BOUGUER

La anomalía de la gravedad de Bouguer se ha calculado por medio de la expresión:





$$AB = gobs - [GN - (F - B \cdot d) Z - T]$$

donde

AB = Anomalía de Bouguer en mgal  
 gobs = Gravedad observada  
 GN = Gravedad normal (sistema de 1967)  
 F = Coeficiente de Aire Libre o de Faye  
 B = Coeficiente de Bouguer  
 d = Densidad de reducción = 2.60 gr/cm<sup>3</sup>.  
 Z = Cota absoluta de la estación, apreciada hasta cm.  
 T = Efecto topográfico

El valor de AB se determinó procesando los datos de un ordenador IBM PC XT, y los resultados se adjuntan en el Apéndice 2.

El levantamiento gravimétrico de la zona explorada se presenta, en forma de isolíneas, en los planos 1 a 8 en mapas a escala 1:25.000 con la nomenclatura empleada por el Instituto Geográfico Nacional. En el plano 9 se agrupan, a escala 1:50.000, las cuatro hojas de El Cerro de Andévalo y en el 10 se hace lo mismo con las de Calañas.

La equidistancia entre isoanómalas es 0,25 miligales, acorde con la precisión del levantamiento establecida en el apartado precedente.

La gravedad crece de norte a sur y de este a oeste y su relieve se encuentra comprendido entre 27.0 miligales en las proximidades del borde nororiental de la hoja de El Cerro (planos 2 y 9), y 52.0 miligales cerca del límite suroccidental de la hoja de Calañas (planos 7 y 10). Este último valor se ha superado solo en anomalías locales relacionadas con yacimientos de Tharsis.

En general las isoanómalas siguen trayectorias que van de WNW-ESE a E-W y sólo en áreas locales pasan a N-S e incluso a NE-SW. Su trazado es regular dentro de la superficie cubierta con estaciones regionales, y ligeramente ondulado en las cuadrículas de detalle, donde se hace más patente el "ruido".

Las tendencias submeridianas abundan en una franja de aproximadamente 5 Km. de anchura situada en el borde oriental de la zona. Dentro de dicha franja son de destacar las estructuras situadas al norte de Silos de Calañas, en la hoja de El Cerro de Andévalo, y al sur de Calañas en la hoja de igual denominación.

El gradiente regional del sector investigado es 0.61 mgal/Km., positivo en dirección suroccidental. Localmente el gradiente puede multiplicarse hasta por el factor siete.

Analizando los mapas de Bouguer en términos de frecuencia en el dominio espacial (ciclos por unidad de longitud), es posible diferenciar tres poblaciones de anomalías como componentes fundamentales de la periodicidad espacial del levantamiento:

- Anomalías con longitud de onda de varios kilómetros
- Anomalías con longitud de onda hectométrica
- Anomalías con longitud de onda kilométrica

Las dos primeras son funciones armónicas y representan la expresión gravimétrica de un mismo proceso orogénico que corresponde a la fase principal de plegamiento. La diferencia de longitud que se observa entre ambas poblaciones refleja los contrastes de densidad de las rocas del subsuelo. Entre las macroanomalías se destaca la antiforma positiva de Cabezas Rubias, limitada al sur por la sinforma negativa de Montes de San Benito, y la también anti-

forma positiva de Alosno con el apéndice elíptico igualmente positivo de Tharsis, al norte, y el domo negativo de la Rivera de Agustín al sureste.

La tercera población de anomalías es disarmónica con las precedentes, posterior a ellas y refleja la fase de fracturación subsecuente al plegamiento.

#### 9. INTERPRETACION MINERO-ESTRUCTURAL

En los planos 11 a 18 se incluye la interpretación estructural de la gravedad Bouguer de cada uno de los ocho mapas a escala 1:25.000 que comprende la zona investigada.

Se han materializado los ejes de gravedad positiva y negativa, así como las principales alineaciones transversales que desplazan o interrumpen dichos ejes. No se considera necesario analizar cada estructura con detalle por encontrarse suficientemente explícita en los referidos planos, sólo decir que hay buena coincidencia con las estructuras cartografiadas en el estudio geológico.

Los ejes positivos y negativos se orientan preferentemente en torno a la dirección este-oeste, vienen definidos por anomalías con longitudes de onda de varios kilómetros y representan ejes de plegamiento. Las alineaciones transversales se agrupan en dos familias conjugadas de direcciones NE-SW y NW-SE, vienen definidas por longitudes de onda kilométrica y corresponden a fallas posteriores al plegamiento. Superpuestos a ambas estructuras aparecen numerosos máximos y mínimos con menor desarrollo superficial, que son las anomalías con longitudes de onda hectométricas del capítulo precedente.

Como fondo cartográfico, en los planos estructurales, así como en

los restantes mapas de Bouguer, se incluyen las distintas minas, tanto de sulfuros como de manganeso, conocidas en la zona investigada. También se incluyen los nuevos descubrimientos como la masa Valverde.

La alta densidad de los depósitos de sulfuros polimetálicos frente a las restantes unidades litológicas de la región hace que sobre aquellos aparezcan máximos de gravedad. Un análisis estadístico de dichas anomalías positivas permitirá diseñar el modelo gravimétrico que constituye el objetivo práctico de la investigación realizada.

Con este objetivo como meta, se resumen a continuación los parámetros gravimétricos del modelo que resulta del binomio "máximo de gravedad-yacimiento polimetálico" representado en planta.

- Morfología.- La anomalía, siempre positiva, vendrá definida por isolíneas cerradas de forma elíptica (Filón Norte, por ejemplo) o abiertas con forma de "cresta de ola" (depósito Valverde, por ejemplo).
- Gradiente.- En todos los casos el gradiente horizontal es superior al valor medio de la zona investigada
- Longitud.- La longitud de onda de la anomalía se encuentra comprendida entre 300 y 1.500 m. en dirección este-oeste, preferentemente, y 200 a 800 m. en dirección transversal.
- Amplitud.- La intensidad residual de la anomalía oscila entre 0.4 y 5 miligales según dimensiones y profundidad de emplazamiento del cuerpo mineralizado.

Este modelo recoge la respuesta gravimétrica de: Filón Norte-San Guillermo, Filón Sur, Almagrera, Nueva Almagrera, Cantareras, Prado Vicioso, Valverde, Lagunazo, Carpio y San Telmo.

No aparece máximo gravimétrico, o es inferior a 0.25 miligales, sobre: Vulcano, Filón Centro, San Germán, Cruzadillo, Lancha, Sorpresa y Lomero-Poyatos debido, en unos casos, a la pobre cobertura gravimétrica realizada y, en otros, al pequeño tamaño de las masas o por encontrarse ya explotadas.

El modelo gravimétrico así definido coincide con la subpoblación de anomalías positivas de longitud de onda hectométrica que delimitan, por ello, áreas con elevada esperanza minera, perfilándose como objetivo prioritario de futuras investigaciones de detalle.

10. ESTUDIO CRITICO DE LAS PRINCIPALES ANOMALIAS: AREAS DE INTERES PREFERENTE

De acuerdo con el modelo minero-gravimétrico establecido en el apartado anterior, se han seleccionado, dentro de cada mapa 1:25.000, áreas de interés minero preferente delimitadas por anomalías positivas cuyos parámetros gravimétricos se ajustan a los de dicho modelo. Obviamente se excluyen las anomalías correspondientes a yacimientos conocidos y a los recientes descubrimientos, como la masa Valverde.

En relación con las áreas de interés localizadas en zonas recognidas con estaciones de carácter regional, es necesario resaltar que todos los puntos con valores de gravedad anómalos de la hoja de El Cerro de Andévalo fueron oportunamente filtrados y se aceptaron sólo cuando se confirmaba que no correspondían a lecturas "idas" bien en gravimetría o bien en topografía. Este mismo filtrado lo suponemos realizado en las restantes campañas por lo que los puntos que se incluyen en los planos son todos gravimétricamente correctos. No obstante, la fiabilidad de tales áreas

anómalas es mayor cuando incluyen varias estaciones y cuando no se ubican en los bordes de cuadrículas de detalle. Ambas circunstancias pueden comprobarse en los respectivos planos en los que, a estos efectos, figuran las estaciones utilizadas.

Con estas salvedades, se analizan a continuación las distintas áreas seleccionadas, contemplando en cada una de ellas: características gravimétricas, emplazamiento geológico y nivel de reconocimiento por labores mineras (sondeos mecánicos), según los datos disponibles. La descripción se realiza de oeste a este y de norte a sur para cada uno de los ocho mapas 1:25.000, y su delimitación se incluye en los planos 11 a 18.

#### 10.1 Hoja 937-I: La Joya. Plano 11

##### 10.1.1 Area anómala 1

###### - Características gravimétricas

Se trata de dos máximos de 700 m. de longitud cada uno, con amplitud residual superior a 0.5 miligales.

###### - Emplazamiento geológico

Se encuentra sobre la formación "Pulo do Lobo," aproximadamente un kilómetro al norte del cabalgamiento entre la citada formación y los materiales de facies Culm-San Benito. Aun cuando su ubicación sobre afloramientos de "Pulo do Lobo" es desfavorable, la existencia del citado cabalgamiento puede implicar la presencia de rocas volcánicas en profundidad a las cuales podría ir asociada una masa pirítica. Por esta razón se considera en principio de interés minero aun cuando supeditada a estudios de detalle.

- Reconocimiento mecánico

No consta la realización de sondeos mecánicos de investigación en relación con esta anomalía.

10.1.2 *Area anómala 2*

- Características gravimétricas

Máximo de gravedad de 1 Km. de longitud y valor residual superior a 0.25 miligales.

- Emplazamiento geológico

Afloran, en relación con esta anomalía, materiales del C.V.S. constituídos por pizarras, tufitas, tobas y lavas del  $V_2$ , junto con rocas básicas.

- Reconocimiento mecánico

Se han realizado 6 sondeos mecánicos, con un total de 879 m., en relación con la mina de El Riskiño, que se sitúa al sureste de la anomalía.

10.1.3 *Area anómala 3*

- Características gravimétricas

Máximo de gravedad de unos 1.000 m. de longitud e intensidad residual superior a 0.50 miligales.

- Emplazamiento geológico

Se sitúa sobre pizarras, tufitas y tobas con "gossan" (C.V.S.) al oeste de mina La Joya.

- Reconocimiento mecánico

No hay constancia de que, el área en cuestión, se encuentre investigada con sondeos mecánicos. No obstante, debido a su proximidad a La Joya, es muy probable que haya sido objeto de alguna exploración minera en el pasado.

10.2 Hoja 937-II: Valdelamusa. Plano 12

10.2.1 Area anómala 1

- Características gravimétricas

Anomalía positiva con 1.25 mgales. de intensidad residual y 1.400 m. de longitud.

- Emplazamiento geológico

Tobas, brechas, tufitas, lavas, etc. del C.V.S., al norte de la antigua mina de Cruzadillo.

- Reconocimiento mecánico

Se han efectuado 13 sondeos mecánicos para reconocer anomalías electromagnéticas y la prolongación de la mina, cortándose diferentes niveles de pirita masiva y diseminada. Las mineralizaciones encontradas no justifican el máximo gravimétrico, sin olvidar que se trata de una anomalía obtenida en un estudio de carácter regional.

10.2.2 Area anómala 2

- Características gravimétricas

Eje de máximos de gravedad con intensidad residual superior a 0.75 mgales. Continúa fuera de la zona explorada.



- Emplazamiento geológico

Aparece en relación con la facies Culm-San Benito inmediatamente al sur del cabalgamiento con la formación "Pulo do Lobo".

- Reconocimiento mecánico

No hay sondeos mecánicos que investiguen esta anomalía.

10.2.3 *Area anómala 3*

- Características gravimétricas

Se trata de una amplia zona anómala que sigue un eje de gravedad positiva y finaliza, al este, en un máximo cerrado con 0.50 miligales de intensidad residual y unos 800 m. de longitud.

- Emplazamiento geológico

C.V.S. con brechas, tobas, tufitas y lavas del  $V_2$

- Reconocimiento mecánico

Se ha efectuado un sondeo mecánico, que atraviesa disseminaciones de sulfuros, sobre anomalías eléctricas y electromagnéticas dentro del eje positivo, unos 1.000 m. al oeste del máximo. No se encuentra suficientemente re conocida la anomalía gravimétrica.

#### 10.2.4 Area anómala 4

##### - Características gravimétricas

Comprende un máximo aislado casi isométrico, con 0.75 miligales de intensidad residual y 700 m. de longitud, prolongado hacia el este por un eje positivo con 0.50 miligales de anomalía residual.

##### - Emplazamiento geológico

El máximo isométrico se encuentra en la prolongación inmediata de la Mina Confesionario, sobre rocas del C.V.S. que continúan a lo largo del eje positivo.

##### - Reconocimiento mecánico

Hay varios sondeos mecánicos que investigan esta anomalía. Alguno de ellos atraviesa mineralizaciones, masivas y diseminadas, de sulfuros.

#### 10.2.5 Area anómala 5

##### - Características gravimétricas

Comprende esta anomalía dos ejes de máximos gravimétricos con intensidad residual superior a 0.50 miligales, en el eje septentrional, y solo superior a 0.25 miligales en el meridional.

##### - Emplazamiento geológico

Rocas del C.V.S. En relación con esta zona se encuentra la mina de Aguas Teñidas.

- Reconocimiento mecánico

Se han efectuado numerosos sondeos mecánicos que han cortado mineralizaciones masivas y diseminadas de sulfuros.

10.3 Hoja 937-III: Cabezas Rubias. Plano 13

10.3.1 Area anómala 1

- Características gravimétricas

Se trata de una amplia zona caracterizada por un gradiente tres veces y medio superior al obtenido para todo el sector, con dos pequeños máximos, uno de ellos cerrado con intensidad residual mayor de 0.25 mgales.

- Emplazamiento geológico

La parte central y norte de esta anomalía se sitúa sobre sedimentos de facies Culm-San Benito mientras que la parte meridional lo hace sobre rocas del  $V_2$  y pizarras púrpuras. En esta anomalía se encuentra la mina La Rica.

- Reconocimiento mecánico

Se ha reconocido el borde nororiental del área seleccionada con 10 sondeos mecánicos, alguno de los cuales atravesó sulfuros masivos y diseminados. El resto no ha sido investigado con labores mineras.

10.3.2 Area anómala 2

- Características gravimétricas

Máximo de gravedad de 1.000 m. de longitud y 0.75 mgales. de anomalía residual.

- Emplazamiento geológico

Sobre el  $V_2$  y la facies Culm-San Benito.

- Reconocimiento mecánico

No hay sondeos mecánicos.

#### 10.3.3 *Area anómala 3*

- Características gravimétricas

Máximo de gravedad de 1.100 m. de longitud e intensidad residual superior a 0.25 miligales.

- Emplazamiento geológico

Rocas del C.V.S. pertenecientes al  $V_2$ .

- Reconocimiento mecánico

No hay sondeos mecánicos en relación con esta anomalía.

#### 10.4 *Hoja 959-I: Villanueva de las Cruces. Plano 15*

##### 10.4.1 *Area anómala 1*

- Características gravimétricas

Máximo de gravedad de 0.50 mgales. de intensidad residual y casi 2.000 m. de longitud.

- Emplazamiento geológico

Rocas del C.V.S.

- Reconocimiento mecánico

No hay sondeos mecánicos en relación con esta anomalía.

#### 10.4.2 Area anómala 2

- Características gravimétricas

Máximo de gravedad con unos 1.500 m. de longitud y 0.50 miligales de amplitud residual.

- Emplazamiento geológico

Rocas del C.V.S.

- Reconocimiento mecánico

No hay sondeos mecánicos que investiguen esta anomalía.

#### 10.5 Hoja 959-II: Calañas. Plano 16

##### 10.5.1 Area anómala 1

- Características gravimétricas

Dos máximos prácticamente isométricos cuyo gradiente septentrional es relativamente elevado. La amplitud de la anomalía residual es superior a 0.25 mgales. y su longitud mayor de 500 m.

- Emplazamiento geológico

Rocas del C.V.S.

- Reconocimiento mecánico

No se ha reconocido con sondeos mecánicos.

10.5.2 *Area anómala 2*

- Características gravimétricas

Se trata de una amplia zona con dos ejes de máximos gravimétricos dirigidos NE-SW y E-W, respectivamente, con gradientes elevados y afectados por varias alineaciones gravimétricas transversales. En parte, al menos, estas anomalías son de naturaleza estructural.

- Emplazamiento geológico

El eje de dirección E-W aparece sobre sedimentos del Devónico Superior mientras que el de dirección NE-SW se ubica sobre afloramientos de la mayor parte de las unidades litológicas del C.V.S.

La existencia de cabalgamientos, y la proximidad de mina Sotiel, hace interesante la zona anómala del eje este-oeste.

- Reconocimiento mecánico

No ha sido investigada con anterioridad por sondeos mecánicos.

10.6 Hoja 959-III: Alosno.- Plano 17

10.6.1 Area anómala 1

- Características gravimétricas

Es una anomalía positiva con longitud próxima a 2.000 m. y 0.75 mgales. de intensidad residual.

- Emplazamiento geológico

Sobre sedimentos del Devónico Superior.

- Reconocimiento mecánico

No se ha investigado con sondeos mecánicos.

10.6.2 Area anómala 2

- Características gravimétricas

Se trata en realidad de dos máximos de gravedad de longitud próxima a 1.500 m. e intensidad residual algo superior a 0.25 miligales.

- Emplazamiento geológico

En rocas del C.V.S., el septentrional, y sobre pizarras del Culm el meridional.

- Reconocimiento mecánico

No ha sido investigada con sondeos mecánicos.

### 10.6.3 Area anómala 3

#### - Características gravimétricas

Máximo de gravedad con longitud próxima a 2.000 m. y 0.50 mgales. de amplitud residual.

#### - Emplazamiento geológico

Rocas del C.V.S. y pizarras del Culm.

#### - Reconocimiento mecánico

No ha sido investigada con labores mecánicas.

## 10.7 Hoja 959-IV: Los Cristales. Plano 18

### 10.7.1 Area anómala 1

#### - Características gravimétricas

Esta anomalía viene definida por un eje positivo norte-sur que presenta un gradiente superior a la media de la zona en su cierre septentrional. La intensidad de la anomalía residual es superior a 0.50 mgales.

#### - Emplazamiento geológico

Sobre pizarras y grauvacas del Culm.

#### - Reconocimiento mecánico

No se ha investigado con sondeos mecánicos. Sin embargo se han realizado 3 perforaciones algo más al oeste, y una al sureste.



#### 10.7.2 *Area anómala 2*

- Características gravimétricas

Son similares a las de la anomalía precedente aunque presenta menor intensidad residual que aquella.

- Emplazamiento geológico

Pizarras y grauvacas del Culm.

- Reconocimiento mecánico

No ha sido reconocida con labores mecánicas.

#### 10.7.3 *Area anómala 3*

- Características gravimétricas

Máximo de gravedad con 700 m. de longitud y algo más de 0.50 mgales. de intensidad residual.

- Emplazamiento geológico

Pizarras y grauvacas del Culm.

- Reconocimiento mecánico

No ha sido investigada con perforaciones mecánicas.

#### 10.7.4 *Area anómala 4*

- Características gravimétricas

Máximo de gravedad con 0.50 mgales. de intensidad residual y unos 1.000 m. de longitud.

- Emplazamiento geológico

Pizarras y grauvacas del Culm.

- Reconocimiento mecánico

No ha sido investigada con sondeos mecánicos.

## 11. CONCLUSIONES

- 11.1 La homologación entre las diferentes campañas gravimétricas de detalle minero realizadas por las empresas adjudicatarias de bloques de la Reserva Zona de Huelva, y de todas ellas con la campaña de carácter regional efectuada por la Dirección General de Minas y de la Construcción, ha permitido obtener un campo de datos homogéneo con el cual se ha elaborado un mapa gravimétrico de todo el Sector Occidental de la Reserva, en el que la Anomalía de Bouguer viene referida a "datum" internacional en gravedad, al nivel del mar y coordenadas UTM en topografía, corrección topográfica hasta la zona M de Hammer y 2.6 gr./cm<sup>3</sup>. de densidad de reducción.
- 11.2 El relieve gravimétrico de la zona investigada es de 25 miligales, comprendidos entre las isolíneas de 27.0 mgal en el borde noreste y 52.0 mgal. en el suroeste del Sector. El gradiente medio es 0.61 mgal/Km., positivo hacia el sur.
- 11.3 Se han diferenciado tres categorías de anomalías de la gravedad, en función de que su longitud de onda alcance varios kilómetros, algunos hectómetros, o bien un valor intermedio con longitud kilométrica. Las dos primeras son funciones armónicas y representan la expresión gravimétrica de la fase principal de plegamiento de la Faja Pirítica. La tercera, transversal a las anteriores, refleja la respuesta gravimétrica de la fase posterior de fracturación.

- 11.4 A partir de la respuesta gravimétrica de las masas de sulfuros conocidas (minas antiguas y nuevos descubrimientos) ha sido posible elaborar el modelo que permite seleccionar áreas anómalas atribuibles, en principio, a depósitos polimetálicos. Dicho modelo, representado en planta, se caracteriza a) por isolíneas de morfología cerrada, más o menos elípticas, y también abiertas con inflexiones acusadas en forma de "cresta de ola"; b) gradientes superiores a la media de la zona; c) longitud de onda entre 300 y 1.500 m. en la dimensión mayor y 200-800 m. en dirección transversal; y d) amplitud residual entre 0.4 y 5 miligales.
- 11.5 La interpretación estructural de los mapas de Bouguer pone de manifiesto la presencia de ejes de anomalías positivas y negativas con varios kilómetros de longitud y rumbo preferentemente en el entorno de la dirección este-oeste, y alineaciones transversales (fallas) que desplazan a dichos ejes. La dirección más frecuente de estas estructuras secundarias es NE-SW y su conjugada NW-SE.
- 11.6 En función del modelo gravimétrico-minero establecido se han seleccionado veintidos áreas anómalas en todo el sector investigado. La fiabilidad de cada anomalía es tanto mayor cuanto más estaciones incluye y cuanto menos relación espacial tiene con bordes de cuadrículas de detalle. Por su parte, el potencial minero crece cuando los parámetros que la definen se ajustan mejor a los del modelo y cuando su emplazamiento geológico es favorable.

## 12. RECOMENDACIONES

- 12.1 En relación con futuros trabajos de gravimetría en la Faja Pirítica, se recomienda referirlos a "datum" internacional en gravedad, llevar la corrección de relieve hasta la zona M de Hammer, relacionarlos al nivel del mar en altitudes y a coordenadas del sistema UTM en planimetría, como base para su posterior explotación integrados en levantamientos regionales.

12.2 Respecto a las áreas anómalas seleccionadas, se recomienda, si aun no se ha efectuado, su investigación geológica y gravimétrica de detalle, y, si los resultados son positivos, complementarla con una campaña geoelectrica o electromagnética antes de proceder a su reconocimiento con sondeos mecánicos.