

ESTABLECIMIENTO DE BASES METODOLÓGICAS PARA LA OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA GRAVIMÉTRICA 1:50.000. APLICACIÓN A LA MODELIZACIÓN 2D Y 3D EN VARIAS ZONAS DE LA PENINSULA IBERICA.



CAPITULO 4

ADQUISICIÓN DE DATOS GRAVIMÉTRICOS

AUTOR: F.M. RUBIO (2009)

INDICE CAPITULO 4

4. ADQUISICIÓN DE DATOS GRAVIMÉTRICOS	5
4.1. GRAVÍMETROS EMPLEADOS	5
4.1.1. Controles en oficina y deriva secular de los gravímetros de la campaña	7
4.2. CÁLCULO DE LA GRAVEDAD OBSERVADA.....	18
4.2.1. Distribución de puntos en las campañas de campo	19
4.2.2. Bases gravimétricas empleadas	21
4.2.3. Control de repeticiones de las campañas de campo	32
4.2.4. Estudio estadístico de las repeticiones realizadas en función de los gravímetros empleados	35
4.2.5. Estudio estadístico de la producción obtenida en las campañas.....	37
4.3. Referencias	37
ANEXO 1. Estructura de ficheros del capítulo	39
ANEXO 2. Manual del programa Estadillo	43

4. ADQUISICIÓN DE DATOS GRAVIMÉTRICOS

En gravimetría se desea determinar la distribución de la densidad de las rocas del subsuelo mediante la observación de las perturbaciones que las estructuras geológicas originan en el campo gravitatorio terrestre medido sobre la superficie (Plata et al., 2002).

Los instrumentos utilizados, denominados gravímetros, son en esencia balanzas mecánicas, en las que una masa se soporta con un muelle. Los cambios de gravedad producirán variaciones en el peso de la masa, y, por tanto, en la longitud del muelle, siendo esta variación lo que se mide. La sensibilidad requerida, de apreciar el cambio de una unidad en 10^8 hace que los materiales, mecánica y construcción de estos instrumentos sea especial. En prospección estos aparatos miden la componente vertical de la gravedad.

4.1. GRAVÍMETROS EMPLEADOS

En este trabajo para la adquisición de los datos gravimétricos se ha dispuesto de los siguientes gravímetros:

Lacoste & Romberg modelo G del IGME (L&G IGME)

Scintrex CG5 del IGME (Scintrex)

Originalmente el gravímetro Scintrex era un modelo CG3, que al comienzo de este proyecto fue actualizado al modelo CG5. Por ello, mientras no se disponía de este aparato, y luego, tras su actualización, mientras se procedía a su puesta a punto, fue necesario el empleo de gravímetros cedidos por otros organismos y particulares, que fueron:

Lacoste & Romberg modelo G de la Universidad de Barcelona (L&R UB).

Lacoste & Romberg modelo G prestado por Félix Rosales (L&R FR).

La distribución del uso de los diferentes instrumentos en las distintas campañas de campo realizadas durante este trabajo se refleja en el cuadro 4.1. El único gravímetro empleado en todas las campañas ha sido el L&R del IGME. Los trabajos comenzaron durante el año 2006, cuando se realizaron las mediciones correspondientes al perfil Alcudia. Esta zona originalmente no formaba parte de este Proyecto, sino que fue añadida posteriormente en el año 2007 tras una reformulación del mismo. En un principio, se contaba con la colaboración de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) para realizar la campaña del perfil Alcudia. La UCM dispone de un gravímetro Lacoste & Romberg modelo G (*L&R RT*), con el que realizó varios programas de medida, cuyas coordenadas fueron tomadas con los GPS del IGME según la metodología descrita en el Capítulo 2 del informe final de este Proyecto. Por circunstancias de programación de los trabajos, esta colaboración sólo fue posible llevarla a cabo al comienzo de la campaña, durante un corto periodo de tiempo. Los datos medidos con este gravímetro han sido incorporados a este trabajo, tratándolos como otro instrumento más de la campaña.

Año	Gravímetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2006	L&R IGME				x x x	x x		x x	x x x	x x x	x x		x
	L&R FR												
	L&R RT				x x x	x x							
	L&R UB							x x	x x x	x x x	x x		
	Scintrex												
2007	L&R IGME	x	x x	x x	x x	x x	x x x	x x	x x	x	x x x	x x x	
	L&R FR	x	x x	x x	x								
	L&R RT												
	L&R UB				x x	x	x x x	x x		x	x x x		
	Scintrex						x x x x	x x	x x	x	x x x	x x x	

- x X Campaña Bierzo
- x X Campaña Extremadura
- x X Campaña Alcudia

Cuadro 4.1. Distribución de los diferentes gravímetros empleados en las distintas campañas de campo.

Los gravímetros son instrumentos de muy alta sensibilidad, y deben de ser controlados con gran cuidado ya que sufren variaciones en los valores de las lecturas con el tiempo, fenómeno que se denomina deriva. En función del tipo de control que se realice con el

gravímetros pueden determinarse diferentes tipos de deriva. Si el gravímetro se mantiene en reposo, repitiendo la medición en el mismo punto, se obtiene lo que se denomina deriva estática, que da una idea del estado mecánico del aparato. Si el gravímetro está en movimiento, controlando su deriva cada cierto tiempo, como por ejemplo cada ciertas horas coincidiendo con la duración del programa diario de trabajo, se obtiene la que se denomina deriva de trabajo. La alternancia del gravímetro en reposo y movimiento, controlada cada 24 horas, proporciona la que se denomina deriva secular.

4.1.1. Controles en oficina y deriva secular de los gravímetros de la campaña

Antes de comenzar cada campaña, y durante la misma, los gravímetros deben ser sometidos a una serie de controles para conocer su estado y realizar en ellos, caso de ser necesario, las correcciones oportunas.

Los gravímetros Lacoste & Romberg normalmente son sometidos a un control de sensibilidad, a una comprobación de la línea de lectura, y a todas aquellas pruebas especificadas en su manual para su correcto mantenimiento y puesta en marcha. Lo mismo ocurre con los gravímetros Scintrex, si bien, al tener más componentes electrónicos, los controles sirven para comprobar y/o determinar sus parámetros de medida, en concreto su control de sensibilidad a la inclinación y sus constantes de lectura; todo ello se realiza mediante programas de medida en estático.

Una vez preparados en la oficina, los gravímetros son llevados a realizar una prueba de su estado y funcionamiento mediante lecturas en la línea de calibración del IGN. En concreto se han empleado las bases de Somosierra, Lozoyuela y Robregordo.

En gravímetros más antiguos las lecturas en la línea de calibración servían para controlar su constante de calibración, es decir la equivalencia entre unidades de medida y unidades gravimétricas. Los gravímetros Lacoste & Romberg deben de ser calibrados en fábrica, por lo que esta prueba sirve únicamente para determinar la validez de sus constantes. Lo mismo ocurre con el gravímetro Scintrex, que sólo puede ser calibrado en fábrica, sirviendo esta prueba solamente para comprobar su correcto funcionamiento.

En la figura 4.1 se muestra el gráfico de deriva estática del gravímetro Lacoste & Romberg del IGME, resultado de las medidas en un punto fijo situado en la sede del IGME en Tres Cantos, y que se realizó en Abril de 2006, al comienzo de las campañas de campo.

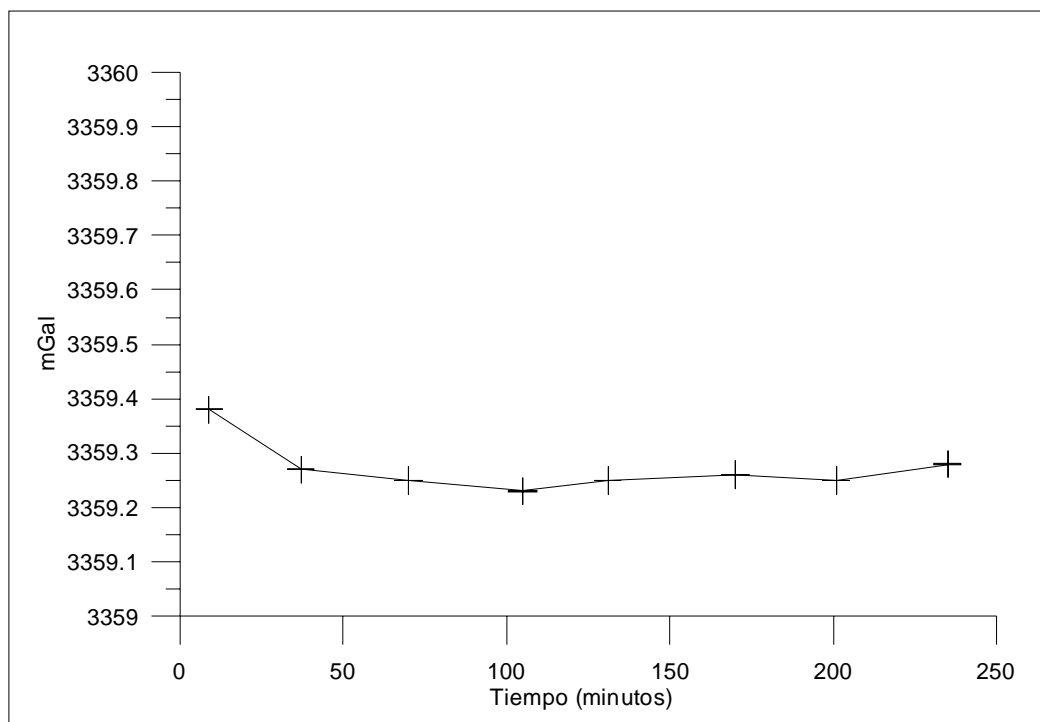


Figura 4.1. Gráfico de deriva estática del gravímetro Lacoste & Romberg del IGME, obtenido mediante mediciones en un punto fijo situado en la sede del IGME en Tres Cantos, realizadas en Abril de 2006.

En la figura se aprecia la escasa deriva del gravímetro a lo largo del tiempo, lo que permite trabajar en campo con una sola apertura y cierre en base por día.

Al comienzo de 2007, concretamente el 17 de enero, y antes de empezar las campañas de campo, se realizó una prueba de calibración con los gravímetros Lacoste & Romberg del IGME y de Félix Rosales (FR). Los resultados de esta calibración (cuadro 4.2, figura 4.2), muestran valores parecidos de los incrementos de gravedad entre las diferentes bases, dentro de un rango aceptable de error, entre los valores obtenidos con los gravímetros y los valores de las diferencias proporcionados por el Instituto

Geográfico Nacional (IGN), lo que indica que el funcionamiento de los instrumentos es adecuado.

GRAVÍMETRO	Estación	Hora	Lectura	LS	G relativa
L&R IGME	Somosierra	11	3301,03	-0,07	3368,7
	Robregordo	11,19	3327,31	-0,06	3395,56
	Lozoyuela	11,51	3345,8	-0,06	3414,44
	Somosierra	12,34	3301	-0,06	3368,68
	Robregordo	12,54	3327,3	-0,06	3395,55
	Lozoyuela	13,19	3345,78	-0,06	3414,42
	Somosierra	13,43	3301	-0,06	3368,68
	Robregordo	14,08	3327,33	-0,07	3395,57
	Lozoyuela	14,34	3345,81	-0,07	3414,44

	Estación	Hora	Lectura	LS	G relativa
L&R FR	Somosierra	10,55	3508,45	-0,07	3568,11
	Robregordo	11,19	3534,91	-0,06	3595,05
	Lozoyuela	11,57	3553,46	-0,06	3613,93
	Somosierra	12,25	3508,47	-0,06	3568,14
	Robregordo	12,47	3534,89	-0,06	3595,03
	Lozoyuela	13,14	3553,48	-0,06	3613,95
	Somosierra	13,41	3508,44	-0,06	3568,11
	Robregordo	14	3534,89	-0,07	3595,02
	Lozoyuela	14,3	3553,47	-0,07	3613,93
Diferencias entre las bases (mGal)					
	L&R IGME		L&R FR		IGN
Somosierra-Robregordo	26,87		26,91		26,95
Somosierra-Lozoyuela	45,75		45,81		45,84
Lozoyuela-Robregordo	18,88		18,91		18,89

Cuadro 4.2. Valores de la calibración realizada en las bases de la línea de calibración del IGN, Somosierra, Robregordo y Lozoyuela. Los gravímetros empleados han sido el L&R del IGME y el L&R de Félix Rosales (FR)

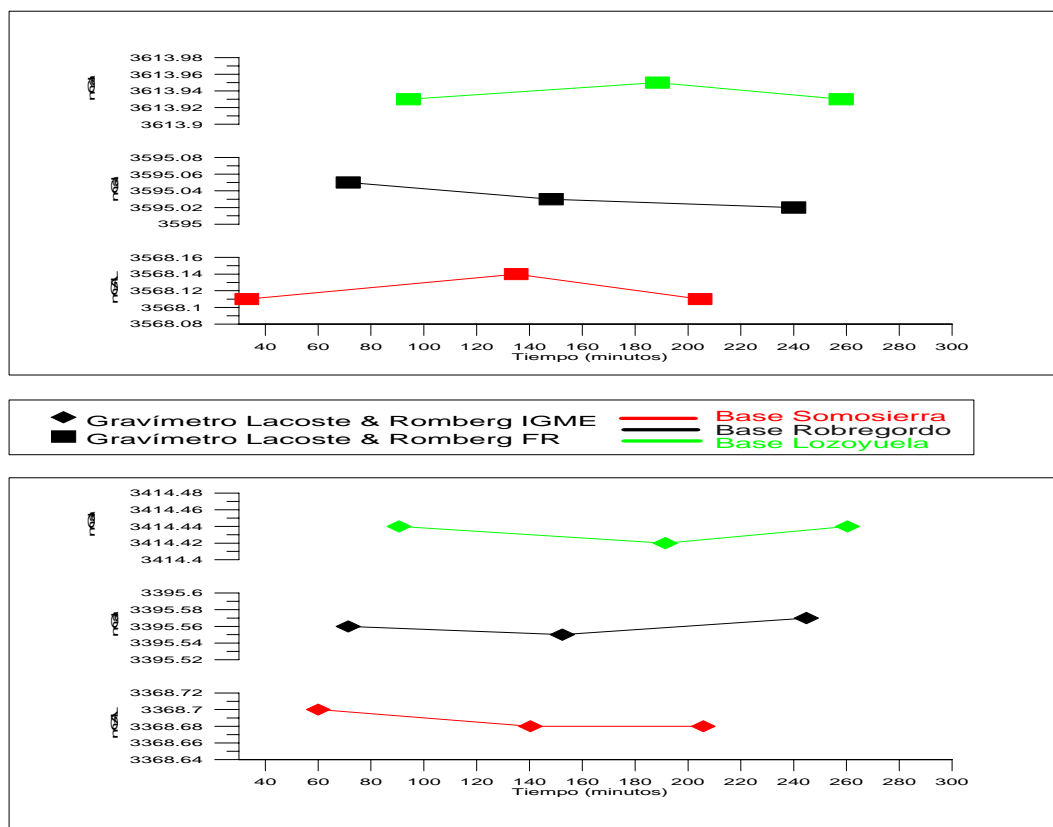


Figura 4.2. Gráfico de la calibración realizada en las bases de la línea de calibración del IGN, Somosierra, Robregordo y Lozoyuela. Los valores corresponden a los del cuadro 4.2

Esta calibración en la línea de bases de la sierra de Madrid se ha vuelto a realizar el día 3 de abril de 2008, empleándose el gravímetro L&R del IGME, el Lacoste and Romberg de la Universidad de Barcelona y el Lacoste & Romberg de Félix Rosales. El resultado se muestra numéricamente en el cuadro 4.3 y gráficamente en la figura 4.3.

GRAVÍMETRO IGME	Estación	Hora	Lectura	LS	G relativa
	B1	9,42	3344,9	0,11	3413,695
	B3	10,27	3299,98	0,14	3367,843
	B2	10,41	3326,28	0,15	3394,715
	B1	11,2	3344,74	0,16	3413,582
	B2	11,42	3326,27	0,16	3394,715
	B3	12,05	3299,91	0,15	3367,781
	B2	12,18	3326,21	0,15	3394,644
	B1	12,42	3344,67	0,14	3413,490
GRAVÍMETRO BARNÁ	Estación	Hora	Lectura	LS	G relativa
	B1	9,42	3330,62	0,11	3415,263
	B3	10,34	3286	0,14	3369,529
	B2	10,41	3312,25	0,15	3396,463
	B1	11,2	3330,52	0,16	3415,210
	B2	11,45	3312,22	0,16	3396,442
	B3	12,1	3285,96	0,15	3369,498
	B2	12,2	3312,2	0,15	3396,412
	B1	12,42	3330,46	0,14	3415,129
GRAVÍMETRO F.R.	Estación	Hora	Lectura	LS	G relativa
	B1	9,46	3553,87	0,11	3614,520
	B3	10,21	3508,79	0,14	3568,667
	B2	10,47	3535,49	0,15	3595,852
	B1	11,22	3553,89	0,16	3614,590
	B2	11,45	3535,18	0,16	3595,547
	B3	12,04	3508,76	0,16	3568,656
	B2	12,22	3535,18	0,15	3595,537
	B1	12,46	3553,75	0,13	3614,418
Valores medios	L&R IGME	L&R UB	L&R FR		IGN
B1	3413,59	3415,2	3614,51		
B2	3394,69	3396,44	3595,65		
B3	3367,81	3369,51	3568,66		
B1-B2	18,9	18,76	18,86		18,89
B1-B3	45,78	45,69	45,85		45,84
B2-B3	26,88	26,93	26,99		26,95

Cuadro 4.3. Resultado numérico de la calibración del día 3 de Abril de 2008. B1 es la base de Lozoyuela; B2 es la base del Robregordo; B3 es la base de Somosierra.

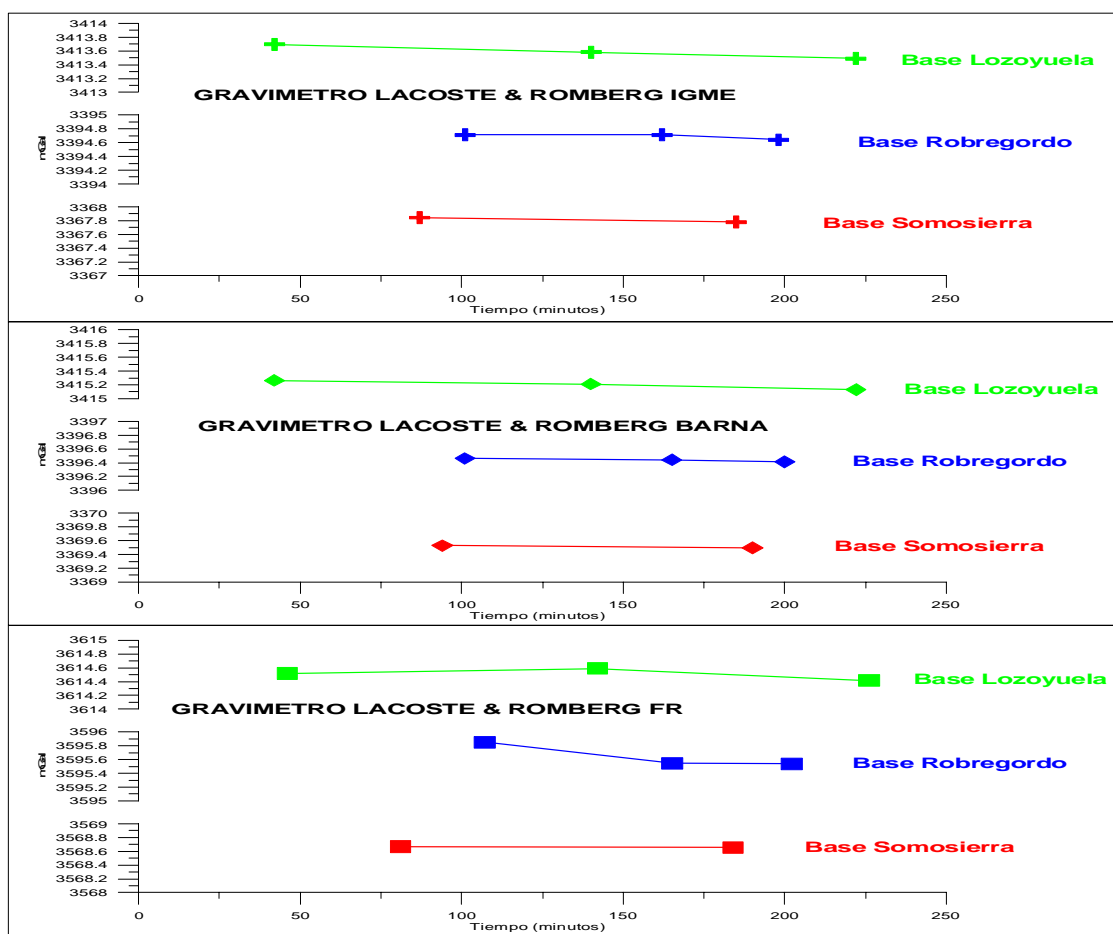


Figura 4.3. Gráfico de la calibración realizada en las bases de la línea de calibración del IGN, Somosierra, Robregordo y Lozoyuela. Los valores corresponden a los del cuadro 4.3.

Además se ha controlado la deriva secular de los gravímetros a lo largo de todas las campañas. Para ello se ha considerado la lectura efectuada todos los días en la base de apertura. En la zona del Bierzo, se ha empleado una única base por lo que solo ha habido un punto fijo, figuras 4.4 y 4.5. En la campaña en Extremadura se han utilizado dos bases, por lo que existen dos gráficos de deriva, figuras 4.6 y 4.7. En la campaña del Perfil Alcudía se han empleado varias bases; algunas de ellas solo han sido utilizadas uno o dos días por lo que no se han usado para representar la deriva secular, el resto se muestra en la figura 4.8.

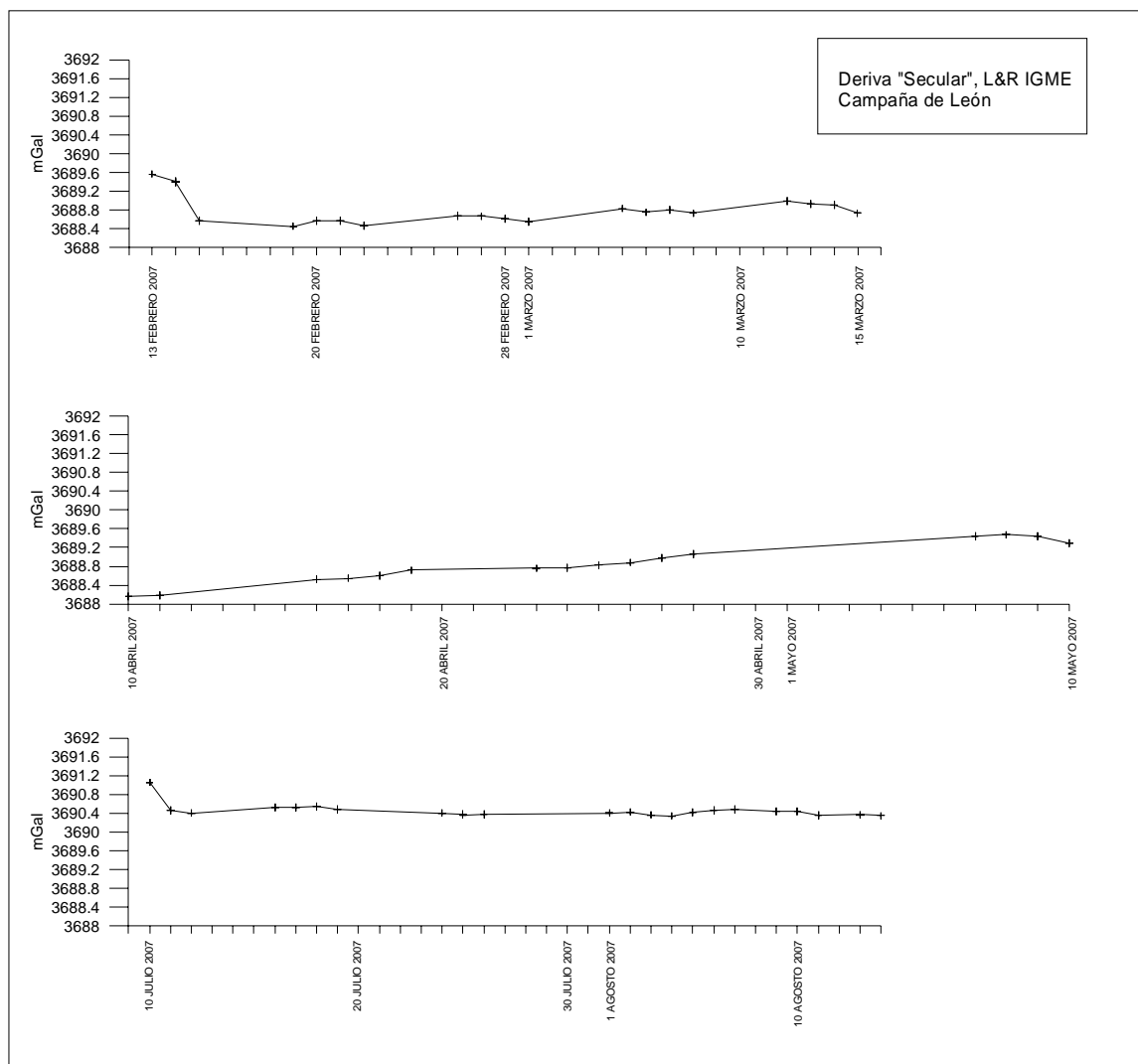


Figura 4.4. Gráficos de deriva secular del gravímetro Lacoste & Romberg del IGME durante la campaña de León. Las medidas se realizaron en la base 1 a lo largo de las diferentes salidas de la campaña.

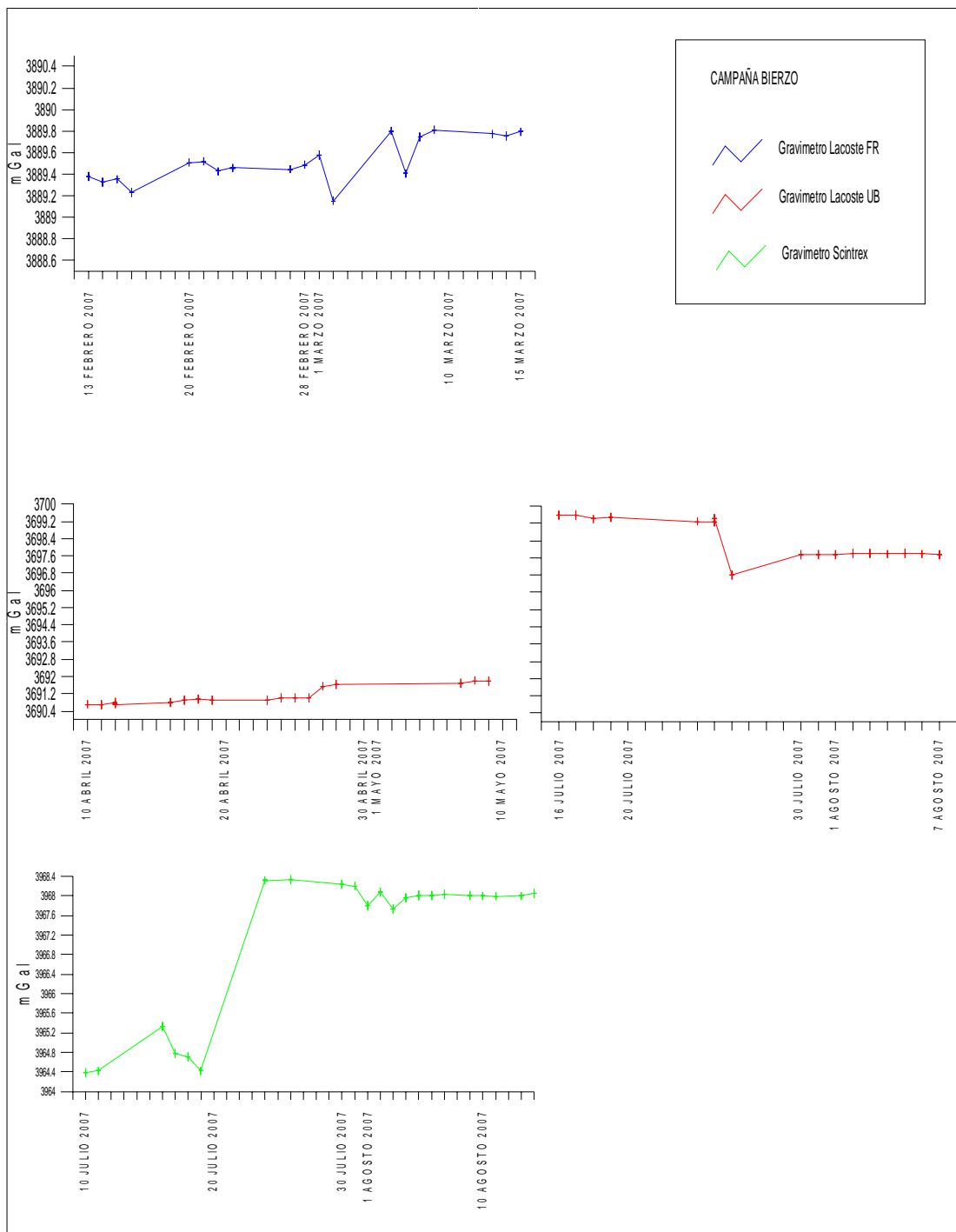


Figura 4.5. Gráficos de deriva secular de los gravímetros Scintrex y L&R de FR y UB utilizados en la campaña de León. Las medidas se realizaron en la base 1 a lo largo de las diferentes salidas de la campaña.

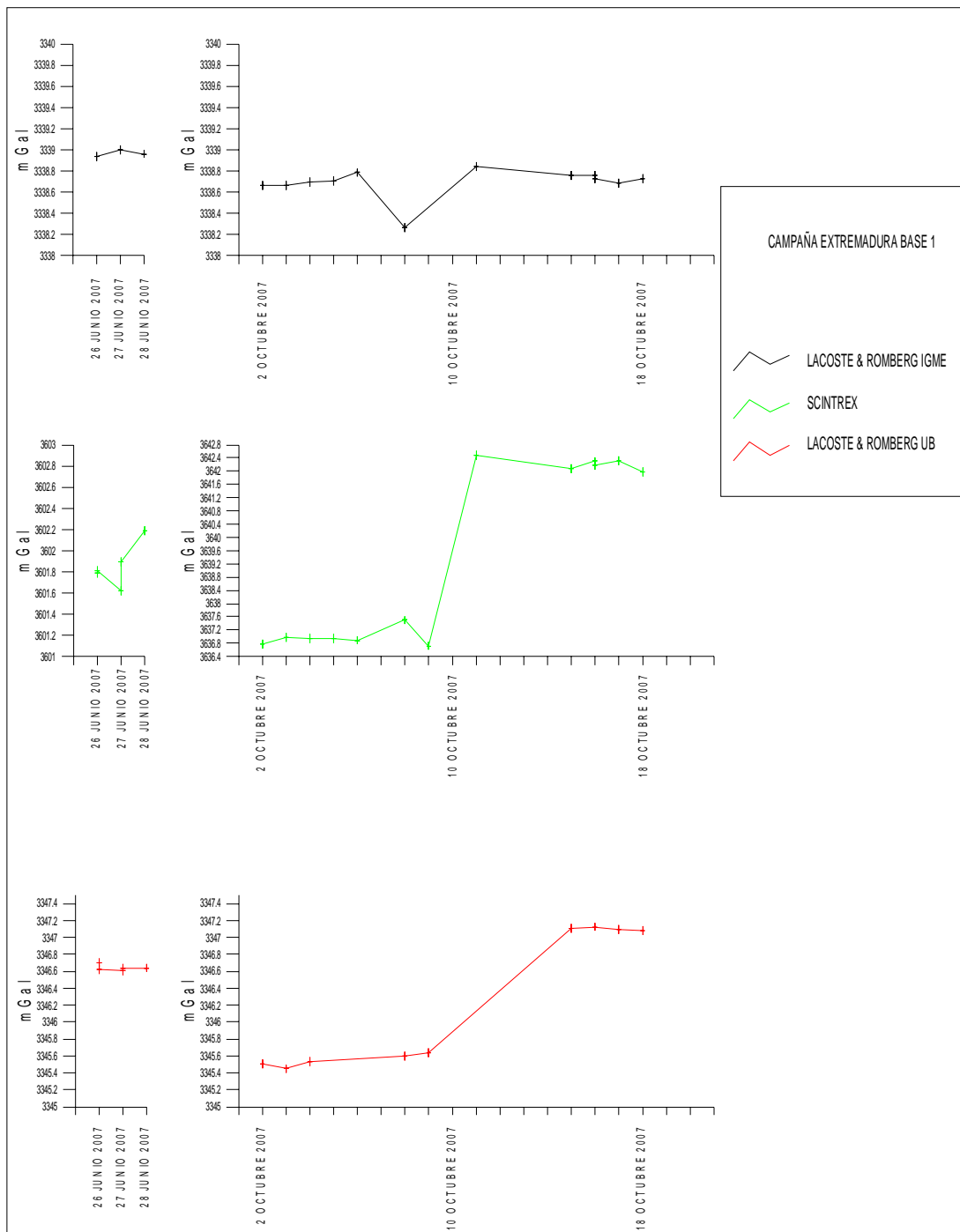


Figura 4.6. Gráficos de deriva secular de los gravímetros Scintrex y L&R del IGME y UB utilizados en la campaña de Extremadura. Las medidas se realizaron en la base 1 a lo largo de las diferentes salidas de la campaña.

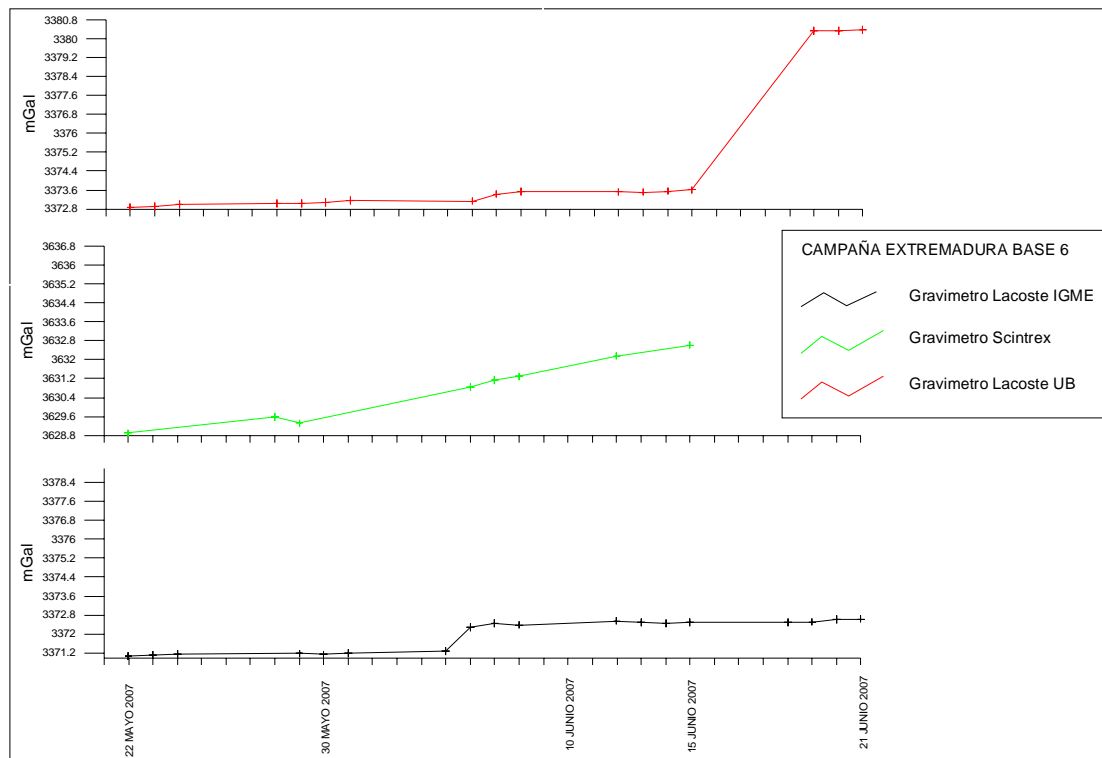


Figura 4.7. Gráficos de deriva secular de los gravímetros Scintrex y L&R del IGME y UB utilizados en la campaña de Extremadura. Las medidas se realizaron en la base 6 a lo largo de las diferentes salidas de la campaña.

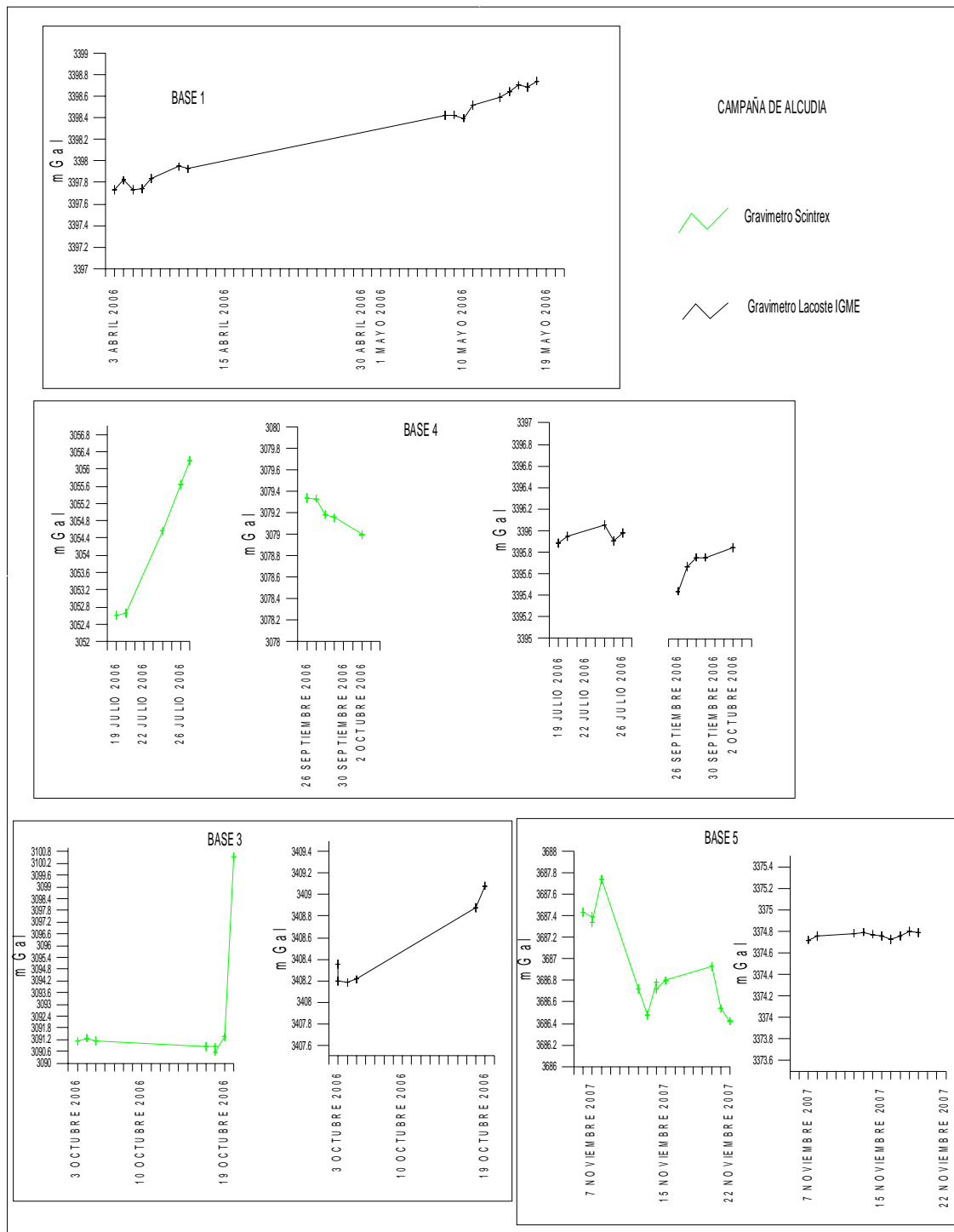


Figura 4.8. Gráficos de deriva secular de los gravímetros Scintrex y L&R del IGME utilizados en la campaña del perfil Alcudia. Las medidas se realizaron en las bases empleadas durante la campaña y en salidas donde se efectuaron en cada una de ellas más de tres medidas.

De la observación de estas figuras podemos comprobar que el gravímetro Lacoste & Romberg del IGME es el que ha mostrado un mejor comportamiento, mientras que los que han mostrado más saltos en los gráficos de derivas han sido el Lacoste & Romberg de UB y el gravímetro Scintrex. Hay que tener en cuenta que este último instrumento ha sido actualizado durante la campaña y las primeras salidas tras su vuelta al trabajo han servido para comprobar su funcionamiento y ajustar sus parámetros.

En general los gravímetros de la marca Lacoste & Romberg empleados: IGME, Félix Rosales y Universidad de Barcelona, han mostrado un comportamiento estable, si bien con algunos saltos observados tras un periodo de inactividad, conducta no inusual en este tipo de instrumentos.

4.2. CÁLCULO DE LA GRAVEDAD OBSERVADA

Los gravímetros empleados en este trabajo miden valores relativos de la gravedad. El objeto de una campaña gravimétrica es la medición de los incrementos de la fuerza de la gravedad entre un punto específico y el resto de los de la zona. Este punto específico es denominado base, y es un punto del terreno en el que se conoce el valor absoluto de la gravedad. En España existe la red de Gravimetría fundamental Española, establecida por el Instituto Geográfico Nacional, y que está enlazada a la International Gravity Standardization Net (IGSN-71).

El valor de la gravedad observado en un punto viene dado por la expresión siguiente:

$$g_{obs} = ((I_p - I_b)k \pm CLS \pm D + g_b$$

g_{obs} = es la gravedad observada en el punto de medida p

I_p = Lectura del gravímetro en ese punto p

k = constante de calibración del gravímetro

CLS = Corrección lunisolar

D = corrección por deriva del gravímetro

I_b = Lectura del gravímetro en la base

g_b = Valor de gravedad absoluto en la base.

D es la corrección de deriva del gravímetro, tiene por objeto corregir la variación que, por efectos mecánicos y térmicos, se ha producido en la lectura del gravímetro a lo largo del periodo de lectura comprendido entre la lectura en la base inicial y la lectura en la estación. Esta corrección se efectúa mediante las lecturas de apertura y cierre en base y se distribuye entre las lecturas de forma lineal al tiempo empleado en la realización de ese programa.

CLS es la corrección lunisolar, que tiene en cuenta la influencia que ejercen la luna y el sol sobre la gravedad terrestre. Los valores de corrección lunisolar se calculan mediante el programa PRETID, desarrollado en el USGS, e implementado en el antiguo Área de Geofísica del IGME. Este programa esta basado en la publicación “Fortran program for generation of Earth Tide Gravity Values” por Albert J. Rudman, Robert Ziegler and Robert F. Blakely editado por: ”Department of natural resources. Geological Survey”. Las fórmulas empleadas se basan en la ecuación de Longman del año 1959 para predecir los valores de la aceleración de mareas para determinados intervalos de tiempo en cualquier punto de la superficie de la Tierra. El gravímetro Scintrex proporciona el valor $I_p + CLS$, ya que lleva el programa de calculo de la corrección lunisolar implementado en el aparato

El cálculo de la gravedad observada, se realiza con el programa ESTADILLO, desarrollado en el Área de Informática del IGME en el año 2008. Este programa calcula también los valores de la corrección topográfica próxima del punto de medida, correspondientes a las coronas B, C, y D de Hammer, a partir de los valores de desniveles tomados en campo. Su manual se incluye en el anexo.

4.2.1. Distribución de puntos en las campañas de campo

De acuerdo a la norma UNE 22-611-85, referida al método gravimétrico, se ha procurado que los datos de campo tuvieran una distribución homogénea de 1 punto/km². Esto se ha conseguido gracias al empleo de los receptores GPS y a su posibilidad de navegación. En las figuras 4.9 y 4.10 se muestra la distribución de los puntos medidos en las zonas de León y Extremadura.

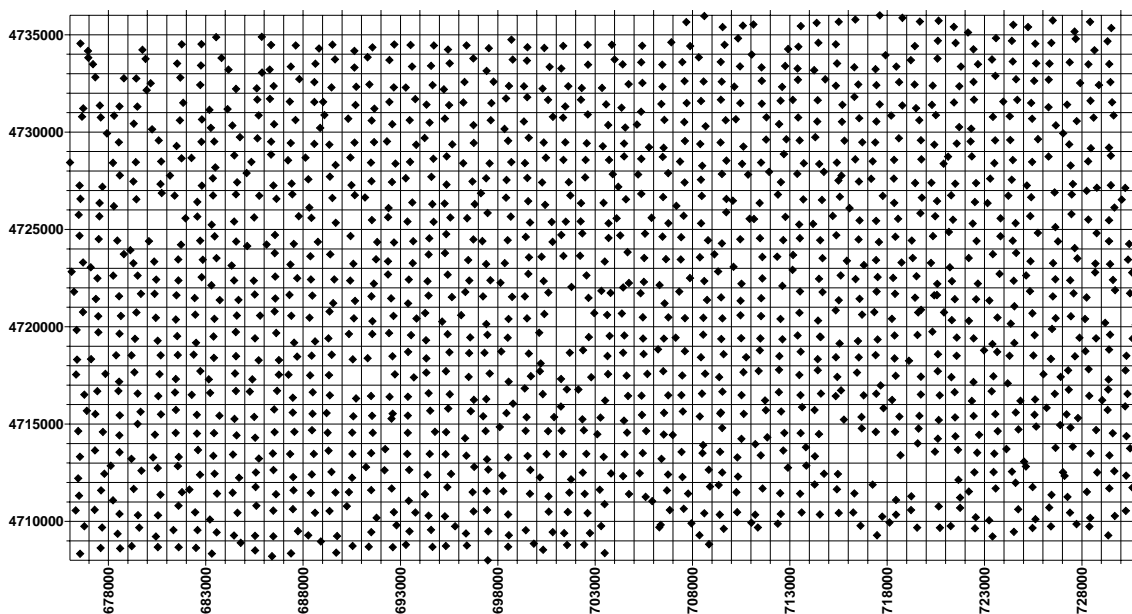


Figura 4.9. Distribución de los puntos medidos en la zona de León.

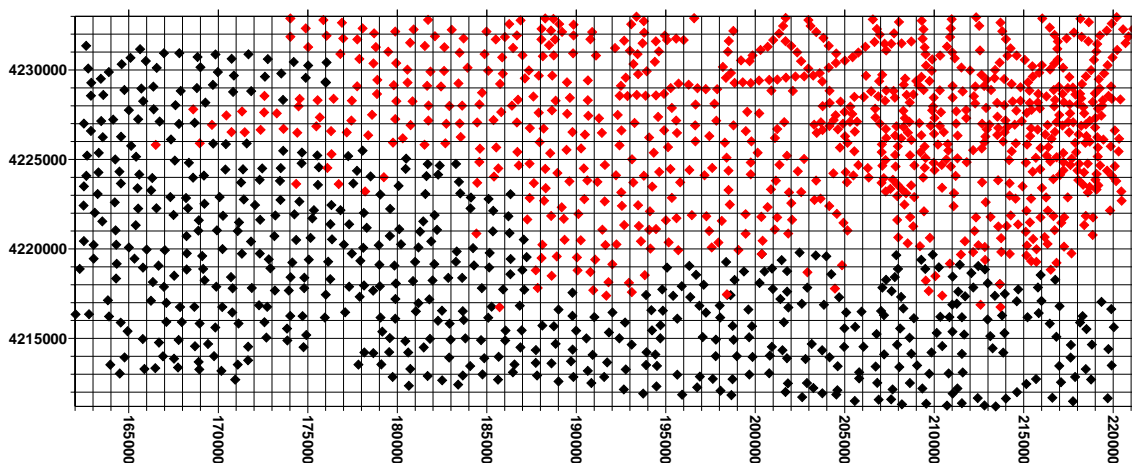


Figura 4.10. Distribución de los puntos medidos en la zona de Extremadura. En rojo los puntos medidos en la campaña de Ossa Morena del año 2001, y en negro los medidos en este trabajo.

En la zona de Extremadura se puede apreciar claramente la diferencia existente entre la distribución de los puntos realizada en la gravimetría de Ossa Morena llevada a cabo por el IGME en el año 2001 (en rojo en la figura) y la realizada en la campaña actual. En la campaña del 2001 se empleó una estación total topográfica y el método de radiación de puntos para situar y dar coordenadas a las estaciones medidas, situándolas sobre carreteras y caminos y en zonas de fácil visualización desde la estación a radiar, esquina superior derecha del mapa. Además, el empleo de la navegación GPS ha

permitido, en la mayoría de los casos, poder localizar los puntos de la campaña del año 2001.

4.2.2. Bases gravimétricas empleadas

En el año 1974 se aprueba la International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71), en la que se acepta el nuevo valor de la gravedad absoluta en Postdam, que pasa a ser de 981260.0 mGal, y se constituye una red de estaciones fundamentales en todo el mundo, de las cuales corresponden a España las siguientes:

10966 ROTA

14492 MALLORCA

14503 MADRID

18012 BARCELONA

El IGN estableció en la década de los 70 una red de bases gravimétricas de ámbito nacional, RED GRAVIMÉTRICA FUNDAMENTAL ESPAÑOLA 1973 (RGFE 73), constituida por 101 estaciones observadas con 4 gravímetros Lacoste & Romberg y que se calcula apoyada en tres estaciones fijas del IGSN71, Madrid, Barcelona y Lisboa.

Entre los años 2001 y 2008, se ha llevado a cabo por parte del IGN el proyecto de la nueva red de nivelación de alta precisión (REDNAP), cuyo objetivo es densificar y actualizar la nueva red de nivelación de alta precisión. En los puntos elegidos se han efectuado también observaciones gravimétricas, por lo que se dispone de una red de puntos en todo el territorio nacional con valores de gravedad enlazados al IGSN-71, que aunque con menor precisión que la Red Fundamental, pueden ser empleados como bases en las campañas gravimétricas de carácter regional.

En este trabajo se ha procurado contar con alguna base gravimétrica perteneciente a alguna de las dos redes anteriores. En aquellas zonas donde no se ha dispuesto de una base fundamental o de la red de nivelación, se han empleado:

- Bases establecidas en campañas gravimétricas anteriores realizadas o supervisadas por el IGME y que están enlazadas con la Red fundamental.
- Bases nuevas implantadas en esta campaña, y que se han enlazado, bien de manera directa, o bien, a través de otras bases secundarias ya establecidas, con la Red Fundamental.

En el cuadro 4.4 se muestran las características principales de estas bases.

Nombre	Campaña	Origen	Denominación	X	Y	G
Ventas con Peña Aguilera	Alcudia	ADARO	B-1	393975	4384675	979922,64
Pueblonuevo de Bullaque	Alcudia	Enlazada	B-2	391750	4351575	979952,36
Piedrabuena	Alcudia	Enlazada	B-3	398450	4321625	979919,95
Saceruela	Alcudia	Enlazada	B-4 (Sin uso)	360500	4313150	----
Almadén	Alcudia	Enlazada	B-5	341175	4294400	979931,99
Hinojosa del duque	Alcudia	Enlazada	B-6	312550	4264750	979897,49
Fuente Obejuna	Alcudia	Enlazada	B-7	288558	4237825	979886,41
Monesterio	Extremadura	IGME	B-1	739025	4218975	979861,14
Fregenal de La Sierra	Extremadura	IGME	B-6	704939	4227415	979894,80
Bembibre	León	Red de Nivelación	B-1	713492	4720725	980215,28

Cuadro 4.4. Parámetros de las bases gravimétricas empleadas en las campañas de campo del Proyecto.

Zona de León

En esta zona para toda la campaña gravimétrica se ha empleado una sola base, situada en la hoja a escala 1:50000 n° 159, en la población de Bembibre (figura 4.11). Esta base pertenece a la red de nivelación de alta precisión, y tiene las siguientes características:

Número de Referencia de la base: 00409134

X UTM (ED50, Huso 29N) : 713492 m

Y UTM (ED50, Huso 29N) : 4720725 m

Valor de Gravedad : 980215.28 mGal

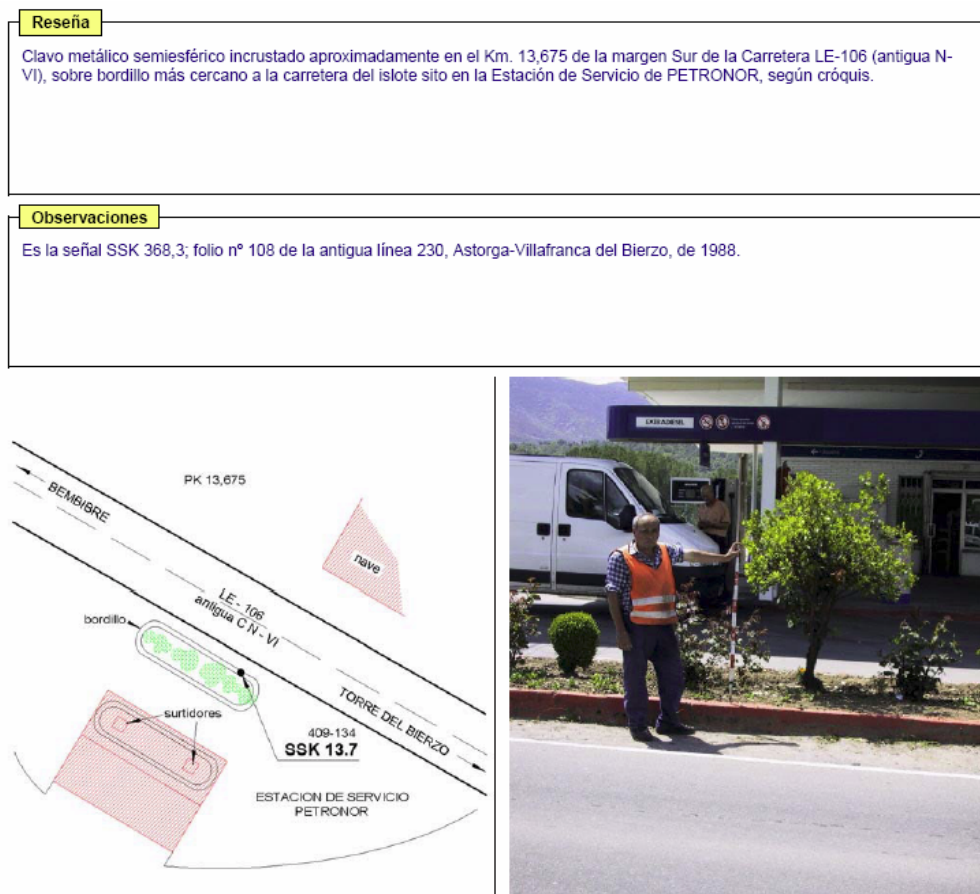


Figura 4.11. Croquis e imagen de la situación del punto de la red de nivelación de alta precisión ubicado en Bembibre y utilizado como base en la campaña de gravimetría de León.

Zona de Extremadura

En la campaña de Extremadura se han empleado dos bases gravimétricas, ambas establecidas en la campaña gravimétrica efectuada por el IGME en Ossa Morena en el año 2001.

La primera base se sitúa en la población de Monesterio y la segunda en la de Fregenal de la Sierra. Las características, croquis, fotos y datos de estas bases, se muestran en la figuras 4.12 y 4.13, las coordenadas X,Y son UTM ED50, Huso 30N, y se expresan en metros.

BASE GRAVIMETRICA DE MONESTERIO (B-1)

GRAVEDAD: 979.861,14
X= 739025 **Y=** 4218975 **Z=** 760 m.



Base situada en el lado izquierdo de la puerta de entrada a la Ermita y en el primer escalon.



Figura 4.12. Base gravimétrica en Monesterio

BASE GRAVIMETRICA DE FREFENAL DE LA SIERRA (B-6)

GRAVEDAD: 979.894,80
X= 704939 Y= 4227415 Z= 600 m.



Base situada en el cruce de la carretera Huelva-Sevilla con la salida de Fregenal de la Sierra a Huertas Perdidas.



Figura 4.13. Base gravimétrica en Fregenal de la Sierra

Zona del Perfil Alcudia

En esta zona se han empleado seis bases gravimétricas. La base principal es la base de Ventas con Peña Aguilera, Toledo, establecida por ADARO en la campaña gravimétrica en el Macizo Hespérico del año 1998. A partir de esta base, el resto se han establecido en este trabajo, los parámetros principales de las bases, croquis y fotos se muestran en

las figuras 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 y 4.20. Las coordenadas X,Y son UTM ED50, Huso 30N, y se expresan en metros.

BASE GRAVIMETRICA LAS VENTAS CON PEÑA AGUILERA (B-1)

GRAVEDAD: 979.922,64
X= 393975 Y= 4384675 Z= 810 m.



Base situada en el lado derecho de la puerta de la Ermita de Sta. Lucia, encima del escalón de entrada.



Figura 4.14. Base de Ventas con Peña Aguilera

BASE GRAVIMETRICA DE PUEBLO NUEVO DE BULLAQUE (B-2)

GRAVEDAD: 979.952,36

X= 391750 Y= 4351575 Z= 625 m.



Base situada delante de la fuente de la plaza de la iglesia.



Figura 4.15. Base de Pueblonuevo de Bullaque (IGME, enlace desde la B1 y la B3)

BASE GRAVIMETRICA DE PIEDRABUENA (B-3)

GRAVEDAD: 979.919,95
X= 398450 Y= 4321625 Z= 600 m.



Base situada en la puerta principal de la iglesia, en el lado izquierdo y encima del escalón de entrada.

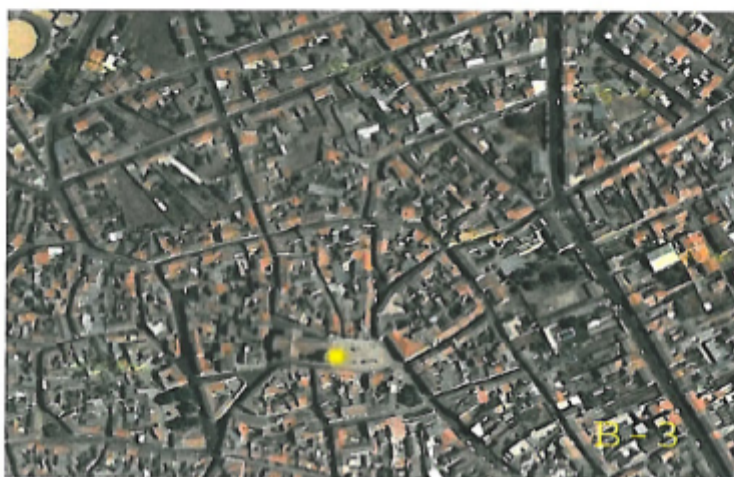


Figura 4.16. Base de Piedrabuena

BASE GRAVIMETRICA DE SACERUELA (B-4)

GRAVEDAD: SOLO EMPALME
X= 360500 Y= 4313150 Z= 565 m.



Base situada bajo un árbol en la entrada de un camino a una finca antes de llegar a la isleta de entrada a Saceruela en la carretera del Puente Retama – Almaden. (Esta base solo se utilizó como empalme entre las bases de Piedrabuena y Almaden).



Figura 4.17. Base de Saceruela

BASE GRAVIMETRICA DE ALMADEN (B-5)

GRAVEDAD: 979.931,99
X= 341175 Y= 4294400 Z= 620



Base situada en el lado izquierdo de la puerta la ermita de la Virgen de Fátima frente a la carretera de Saceruela.



Figura 4.18. Base de Almadén

BASE GRAVIMETRICA DE HINOJOSA DEL DUQUE (B-6)

GRAVEDAD: 979.897,49

X= 312550 Y= 4264750 Z= 560 m.



Base situada en el lado izquierdo de la entrada principal al cementerio de Hinojosa, en un soportal y en el lado derecho debajo de la ventana.

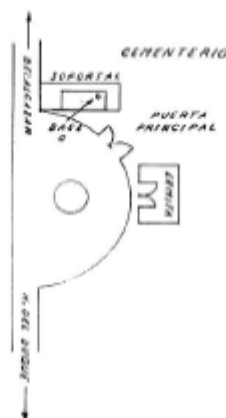


Figura 4.19 Base de Hinojosa

BASE GRAVIMETRICA DE FUENTEVEJUNA (B-7)

GRAVEDAD: 979.886,41
X= 288550 Y= 4237825 Z= 585 m.



Base situada en el lado derecho de la puerta de entrada a la fábrica de industrias camisas en la salida de Fuenteovejuna a Alanís.



Figura 4.20. Base de Fuenteovejuna

4.2.3. Control de repeticiones de las campañas de campo

La norma UNE 22-611-85, referida al método gravimétrico, establece: “la exactitud de las mediciones se controlará de la manera siguiente: al menos un 5% de las estaciones serán medidas dos veces en el curso de programas distintos”. En el caso de los datos gravimétricos estructurales adquiridos en este proyecto, escala de trabajo 1:50000 y 1 punto por km², el valor medio cuadrático (Ecm) de las diferencias en la gravedad observada obtenida por ambas lecturas debe ser inferior a 0.15 mGal

Zona de León

El número total de estaciones de gravimetría medidas ha sido de 1431, de las cuales se han repetido 195, lo que supone un 13,6 %. El estudio del valor de las repeticiones se

presenta en la figura 4.21. Según el cálculo de los valores de las repeticiones, el error cuadrático medio de las mismas es de 0.08 mGal

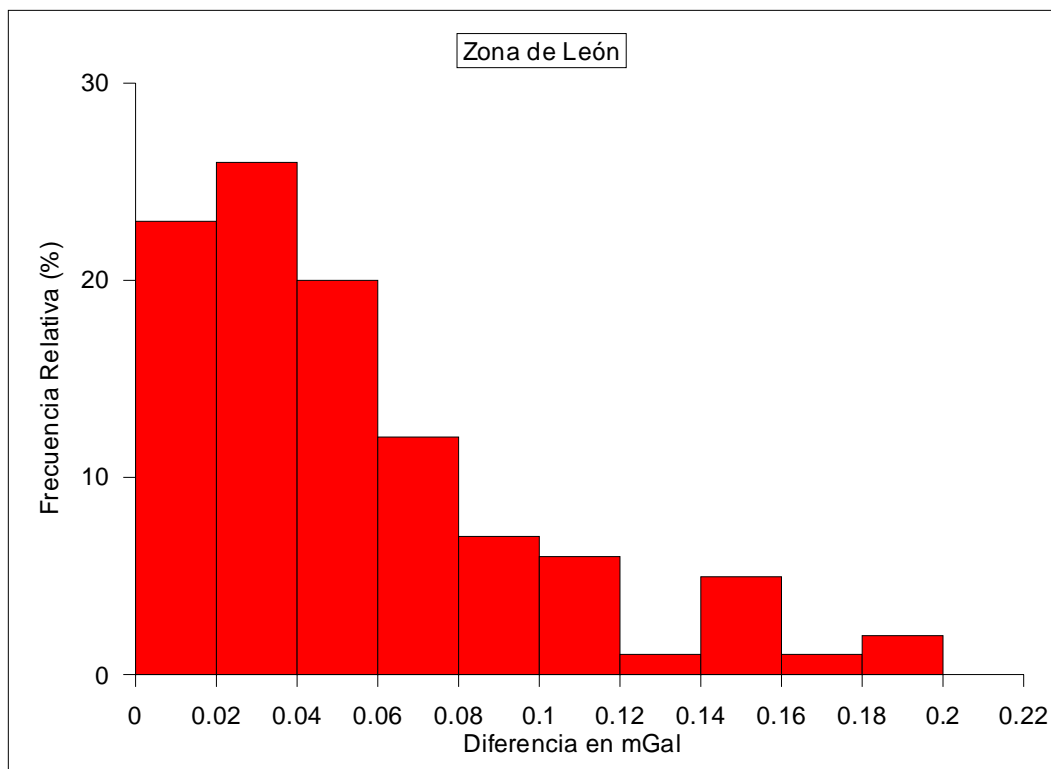


Figura 4.21. Distribución de las repeticiones gravimétricas de la zona de León.

Zona de Extremadura

El número total de estaciones gravimétricas medidas ha sido de 565, entre nuevas estaciones y estaciones medidas en el mismo punto donde ya se tenían valores de campañas anteriores. De todas ellas se han repetido un total de 54 estaciones, lo que supone un 9,56 %. La distribución de las repeticiones realizadas se puede ver en la figura 4.22. El error cuadrático medio de estas repeticiones es: 0.09 mGal.

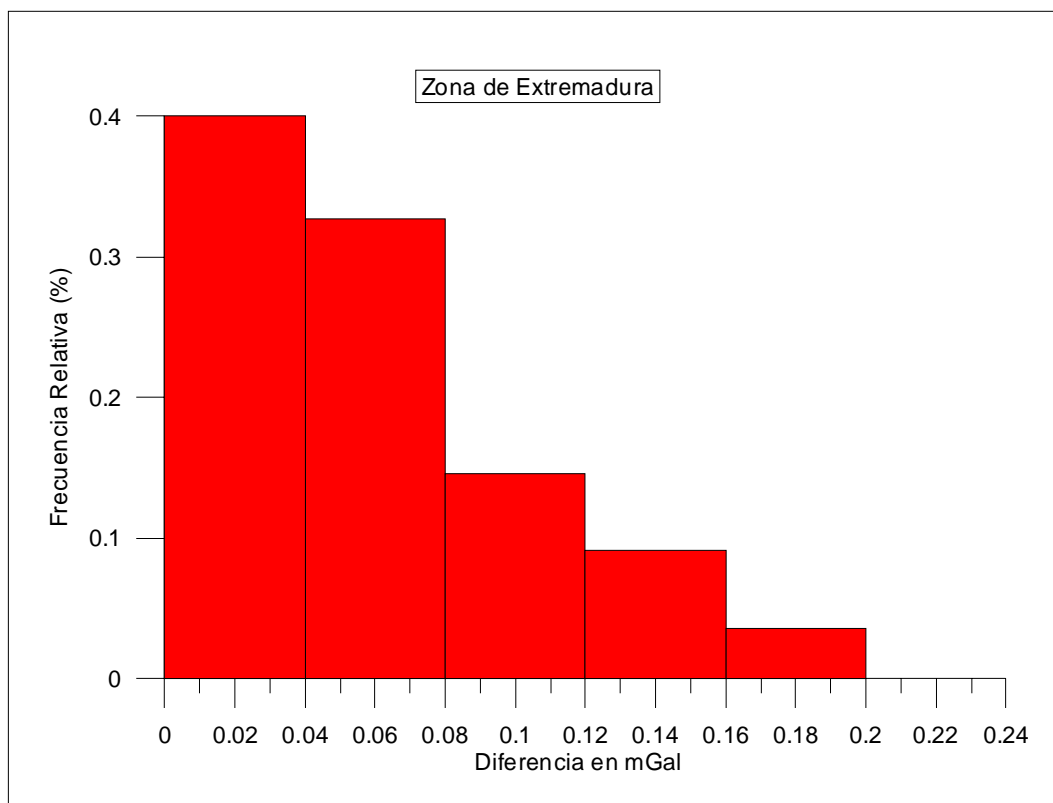


Figura 4.22. Distribución de las repeticiones gravimétricas de la zona de Extremadura.

Zona del perfil Alcudia

El número de medidas realizadas en la zona del perfil Alcudia ha sido de 855, y el número de repeticiones efectuadas fue de 145, lo que supone un 17 %. La distribución de los valores de las repeticiones se muestra en la figura 4.23. El error medio cuadrático de estas repeticiones es de 0.05 mGal.

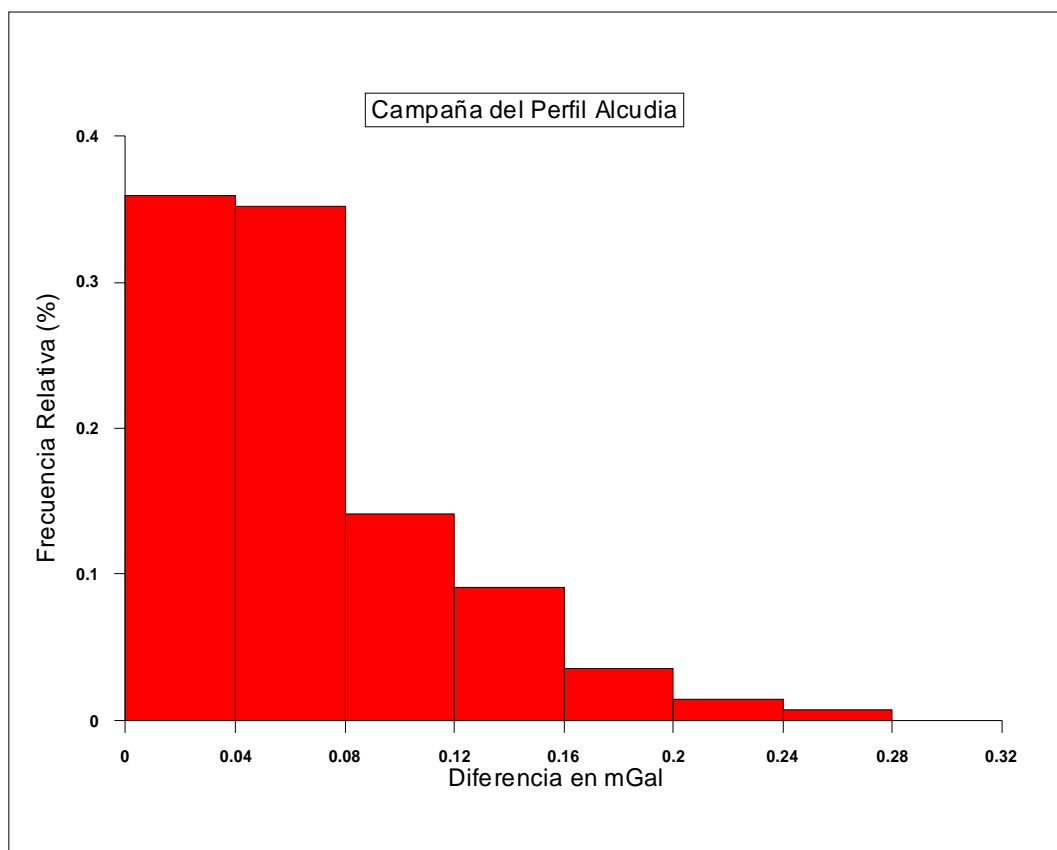


Figura 4.23. Distribución de las repeticiones gravimétricas de la zona de Alcudia.

4.2.4. Estudio estadístico de las repeticiones realizadas en función de los gravímetros empleados

Con el fin de optimizar la adquisición de los datos gravimétricos, junto con los de GPS, se ha procurado trabajar con dos equipos en campo, cada uno formado por un operador con un gravímetro y un receptor GPS. Por ello en las diferentes campañas efectuadas en este proyecto se han empleado varios gravímetros. En la mayoría de los casos los gravímetros utilizados han sido de la marca Lacoste & Romberg, pero también se ha empleado un gravímetro Scintrex.

La necesidad del uso de estos instrumentos ya ha sido explicada en este informe al principio de este capítulo 4. A diferencia de lo normalmente establecido en este tipo de

campañas, no sólo se ha medido con diferentes gravímetros, sino que se han realizado repeticiones de puntos midiéndolos con gravímetros diferentes.

Gravímetros	Nº de Repeticiones			
	Alcudia	Bierzo	Monesterio	Total
IGME-IGME	56	58	26	140
IGME-Sx	48	14	x	62
IGME-FR	3	40	x	43
IGME-UB	3	x	x	3
Sx-Sx	27	13	2	42
Sx-FR	1	x	x	1
Sx-UB	X	1	3	4
FR-FR	X	27	x	27
FR-UB	X	21	x	21
UB-UB	2	16	27	45
FR-RT	4	x	x	4

Gravímetros	Error Cuadrático medio (mGal)			
	Alcudia	Bierzo	Monesterio	Total
IGME-IGME	0,01	0,01	0,01	0,01
IGME-Sx	0,01	0,03	x	0,01
IGME-FR	x	0,02	x	0,01
Sx-Sx	0,01	0,02	x	0,01
FR-FR	x	0,01	x	0,01
FR-UB	x	0,02	x	0,02
UB-UB	x	0,02	0,04	0,02

IGME= Lacoste&Romberg del IGME

Sx= Scintrex del IGME

UB= Lacoste&Romberg Universidad de Barcelona

RT= Lacoste&Romberg Universidad Complutense Madrid (Rosa Tejero)

FR= Lacoste&Romberg Félix Rosales

Cuadro 4.5. Repeticiones efectuadas con los diferentes gravímetros. Sx-Sx significa comparación de Scintrex con Scintrex, FR-UB comparación de medidas con el gravímetro de la Universidad de Barcelona y el gravímetro de Félix Rosales, etc.

Aprovechando esta circunstancia, se ha efectuado un estudio de la calidad de las medidas realizadas con los diferentes instrumentos, cuyos resultados se resumen en el cuadro 4.5. En la parte superior se muestran el número de repeticiones realizadas, indicando en la primera columna si son repeticiones con el mismo gravímetro o con gravímetros diferentes, en las tres columnas siguientes se indican las repeticiones correspondientes a cada zona de trabajo, y en la última columna el número total de repeticiones. En la tabla inferior se indican los errores cuadráticos medios calculados

con estas repeticiones, siempre y cuando el número de las mismas fuese superior a 10. Los resultados parecen mostrar que, independientemente del tipo de gravímetro empleado, los valores de los errores cuadráticos medios obtenidos han sido bajos y bastante similares. El gravímetro que muestra un error mayor, tanto en sus propias repeticiones, como en repeticiones con otros gravímetros es el Lacoste & Romberg de la Universidad de Barcelona.

4.2.5. Estudio estadístico de la producción obtenida en las campañas

Se ha realizado también un estudio del promedio de puntos medidos, gravedad y coordenadas GPS, en cada uno de los programas diarios realizados en las diferentes campañas de campo. El resultado obtenido concluye que realizando salidas tipo de 30 días, lo que supone un total de 22 días efectivos de campo, el promedio del número de puntos diarios medidos por gravímetro ha sido de 12 (24 puntos diarios con dos gravímetros y equipos GPS).

Por tanto el tiempo estimado para medir 520 puntos, equivalentes a una hoja a escala 1:50000 con una distribución de 1 punto por kilómetro cuadrado, es de 22 días efectivos.

4.3. Referencias

Plata, J.L.; Marcuello, A.; Madrid, A.; 2002. Informe Geofísica del Proyecto Geotermallorca. N.F.D. del IGME 62534.

Fortran program for generation of Earth Tide Gravity Values” por Albert J. Rudman, Robert Ziegler and Robert F. Blakely editado por:”Department of natural resources. Geological Survey”.

Longman, I. M., 1959. Formulas for computing the tidal acceleration due to the moon and sun”, Journal Geophys. Research, v.64, p. 2351-2355

Enresa 1998. Gravimetría del Macizo Hespérico. Proyecto Enresa, ejecutor ADARO.
Código 95-1036

IGME 2001. Gravimetría Ossa Morena. Área de Geología del Subsuelo y Almacenamiento Geológico. (Inedito)

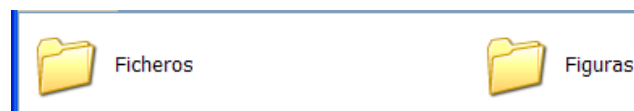
ANEXO 1. Estructura de ficheros del capítulo

En este anexo se describe la estructura de los ficheros generados en este capítulo. Todos ellos se encuentran dentro de la carpeta denominada capítulo 4, dentro de ella se encuentran las siguientes carpetas:



Dentro de la carpeta Texto se encuentran los ficheros correspondientes al texto de este capítulo, en formato Word y en formato .pdf, y que tienen como nombre “capitulo4.doc” y “capitulo4.pdf” respectivamente.

Dentro de la carpeta Anexo informático nos encontramos las siguientes subcarpetas:



La carpeta Figuras, contiene a su vez subcarpetas con nombre el de la figura correspondiente donde se pueden encontrar los siguientes tipos de ficheros: grapher generados para esa figura y los ficheros Excel con los datos necesarios para su creación; ficheros pdf con las imágenes almacenadas de las figuras. Además, en las carpetas de nombre cuadro* (*= número del cuadro) se encuentran los ficheros Excel correspondientes a esos cuadros.

La carpeta Ficheros contiene tres carpetas correspondientes a cada una de las zonas pilotos del Proyecto: Alcudia, Extremadura y León. En ellas se encuentran los ficheros con los estadillos de campo, los datos obtenidos y con las repeticiones realizadas. Estos ficheros tienen los formatos siguientes:

En la carpeta estadillos se encuentran los ficheros Excel correspondientes a los estadillos de cada uno de los gravímetros empleados, estos ficheros poseen la nomenclatura siguiente:

“Estadillo_zona_nombre gravimetro.xls”

Donde zona es el nombre de la zona piloto (Alcudia, Extremadura o León), y nombre gravímetro identifica el gravímetro empleado (FR, IGME, ROSA-TEJERO, SCINTREX, UB)

El formato de estos ficheros para cada estadillo es:

Primera línea: Nombre gravímetro, Fecha y observador

Segunda línea : Estación, Hora, Lectura, LS, Grelativa, Trelativo, Deriva, G

Donde LS es el valor de la corrección lunisolar; Grelativa el valor de G procedente de la lectura del gravímetro; Trelativo el tiempo transcurrido durante el programa en minutos; Deriva= el valor de la deriva del programa para cada estación; G= valor de la gravedad ya corregida en ese punto.

El resto de las líneas los valores para esos campos.

El fichero se compone de tantos estadillos como días trabajados.

Además dentro de las carpetas de cada una de las zonas se encuentran los siguientes ficheros:

zona-GPS-Grav.xls :

Es el fichero de datos de gravedad y coordenadas con el formato:

Alias	Unidad	Descripción
Estación	-----	Número de la estación
Fecha	-----	Fecha de la adquisición
Longitud	Grados	Longitud WGS84 medida con GPS
Latitud	Grados	Latitud WGS84 medida con GPS
Z Elip.	m	Altura elipsoidal medida con GPS
X30 (X29)	m	Abscisa UTM huso 30 (o 29), ED50, calc. con GPS
Y30 (Y29)	m	Ordenada UTM huso 30 (o 29), ED50, calc. con GPS
Z Ortom.	m	Altura ortométrica calculada con GPS (EGM96)
Gravímetro	-----	Gravímetro utilizado
Lectura	-----	Lectura del gravímetro
Gobs	mGal	Gravedad observada
CTP_2.0_cmGal	cmGal	Corrección topográfica próxima en densidad 2.0
CTMyL_2.0_cmGal	cmGal	Corrección topográfica media y lejana en densidad 2.0

zona-Grav-repeticiones.xls

Es el fichero de las repeticiones del valor de gravedad:

Alias	Unidad	Descripción
Estación	-----	Número de estación “original”
Gravímetro	-----	Gravímetro utilizado “original”
Fecha	-----	Fecha de la adquisición “original”
EstaciónR	-----	Número de estación repetida
GravímetroR	-----	Gravímetro utilizado en la repetición
FechaR	-----	Fecha de la adquisición de repetición
G repetición	mGal	Valor de la gravedad de la estación repetida
G original	mGal	Valor de la gravedad de la estación “original”
Dif	mGal	Diferencia entre ambas
Num. reps grav	-----	Número total de repeticiones gravimétricas
ECM reps grav	cmGal	Error cuadrático medio de las repeticiones grav.

zona-Grav-repeticionesCTP.xls

Es el fichero de las repeticiones del valor de CTP:

Alias	Unidad	Descripción
Estación	-----	Número de estación “original”
Gravímetro	-----	Gravímetro utilizado “original”
Fecha	-----	Fecha de la adquisición “original”
EstaciónR	-----	Número de estación repetida
GravímetroR	-----	Gravímetro utilizado en la repetición
FechaR	-----	Fecha de la adquisición de repetición
CTP_2.0_cmGal	cmGal	Valor de la CTP “original”
CTP rep 2.0_cmGal	cmGal	Valor de la CTP repetida
Dif	cmGal	Diferencia entre ambas
Num. reps CTP	-----	Número total de repeticiones CTP
ECM reps CTP	cmGal	Error cuadrático medio de las repeticiones CTP

(*) El número de repeticiones de gravedad y CTP y los respectivos ECM se encuentran en sendas casillas al final de la hoja Excel. En algunos casos, dentro de la hoja, se han añadido anotaciones explicativas.

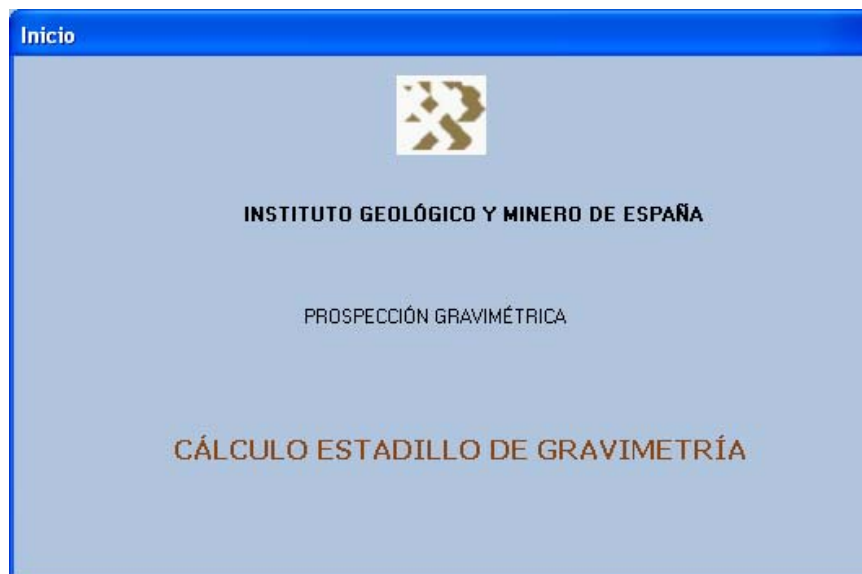
ANEXO 2. Manual del programa Estadillo

MANUAL ESTADILLO GEOFÍSICA

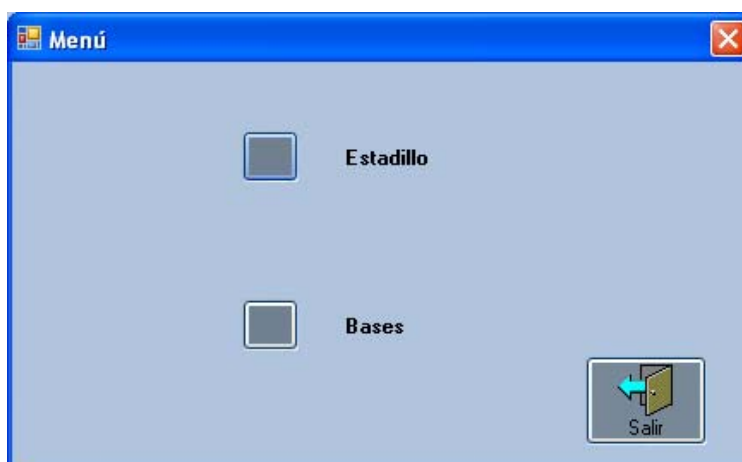
Esta aplicación efectua el cálculo de la gravedad observada a partir de lecturas gravimétricas de campo.

Consta de las siguientes pantallas:

PRESENTACIÓN:



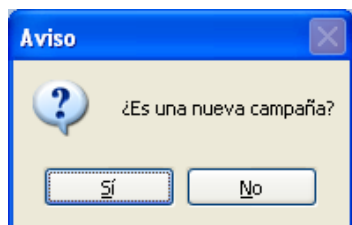
MENU:



En esta pantalla pueden observarse dos botones



Este botón abre la pantalla de Estadillo y siempre realizará la siguiente pregunta :



Si se contesta que "Sí", no aparecerá la pantalla de "BASES", desde la cual se añadirán las bases de Inicio y de Fin de la campaña.

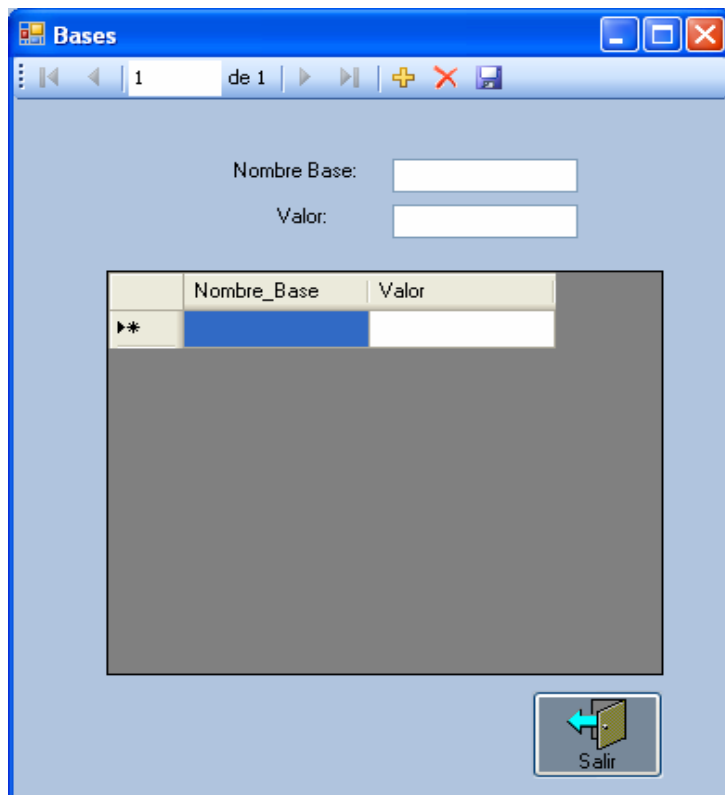
***NOTA:** Cada vez que se entre desde esta pantalla de pregunta "Si/No" los registros de las Bases de otras campañas serán borrados.

Si se contesta que "No" se pasará a la pantalla de entrada de registros del estadillo.



Este botón abre la pantalla de "Bases", en ella estarán almacenadas las bases iniciales y finales de la campaña en curso.

BASES:



Desde esta pantalla se realiza la inserción, modificación y borrado de las bases iniciales y finales de las distintas campañas.

Sólo aparecen las bases de la campaña que está activa y serán borradas automáticamente cuando se entre a esta pantalla desde la opción estadillo del formulario MENU.

La pantalla consta de tres partes:

Barra de tareas:



Indica el número total de elementos y en cuál de ellos está posicionado en la tabla. Y permite moverse entre los registros con los botones de desplazamiento.

El botón permite añadir nuevos registros a la tabla. Al pulsarlo, las cajas de texto “*nombre de base*” y “*valor*” se vaciarán para que se rellenen con los nuevos registros a añadir. Para que el alta sea definitiva hay que pulsar el botón

El botón permite borrar los registros que estén seleccionados en ese momento en la tabla. Para que el borrado sea definitivo hay que pulsar

Si se desea modificar algún registro ya introducido, hay que posicionarse en la tabla sobre la línea que contiene los registros a modificar, o moverse al registro deseado con la barra de desplazamiento que se ha visto anteriormente.

Una vez posicionado sobre dicho valor a modificar, la modificación, se realizará en las cajas de texto “Nombre Base” o “Valor”.

Para que la modificación sea definitiva hay que pulsar el botón .

Para que el borrado sea definitivo hay que pulsar el botón

Cajas de texto: En ellas se escribirán los registros que se desea almacenar

Tabla de registros: Muestra en forma de tabla todos los registros que se tengan almacenados

Botón salir: Al pulsar se saldrá de la pantalla y se volverá a la pantalla de menú

ESTADILLO (REGISTROS DE ENTRADA)

Estación	Hora	Lectura	LS	G.Relativa	T. Relativos	Deriva	G	C.T
*								

Desde esta pantalla se realiza la entrada de registros de los estadillos de campo, los cálculos gravimétricos y exportación e importación de los datos a archivos de texto.

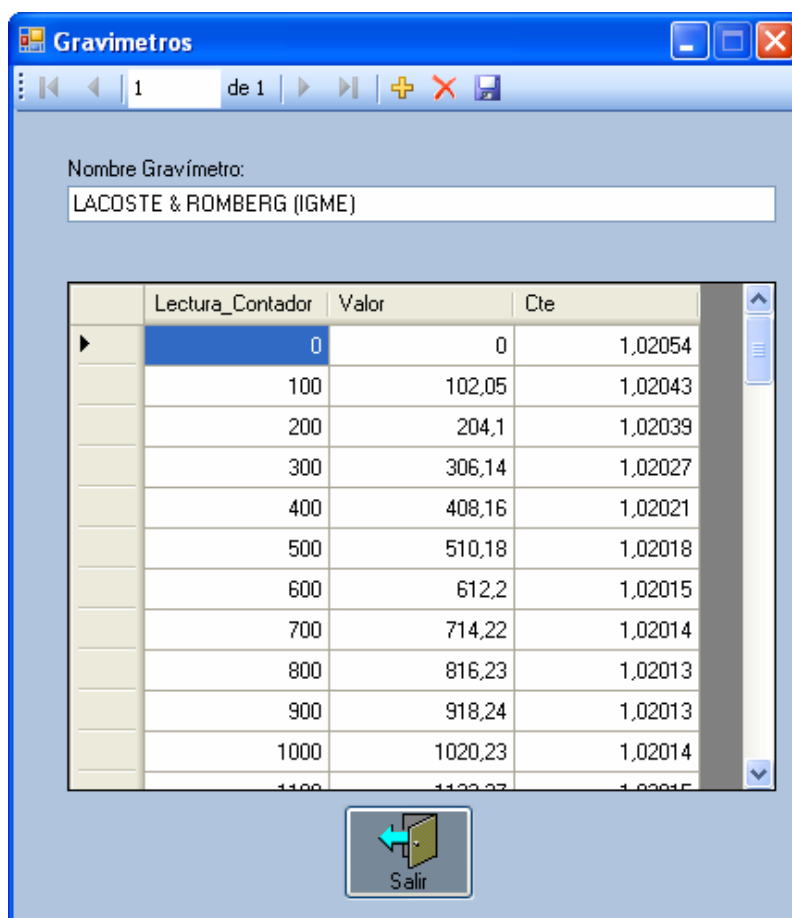
Esta compuesto de 3 partes:

La primera formada por las caja de texto y desplegables donde se añade la información del operador, la fecha y el gravímetro utilizado, así como las lecturas, nombre y hora de la base inicial y final.

Por defecto al elegir una base inicial o final se rellenará la caja de texto “G” con los datos con los que se haya rellenado la pantalla BASES para dicha base.

Base Inicial	Gravímetro
<input type="text"/>	LACOSTE & ROMBERG (IGME)
Base Final	<input type="button" value="Otro"/>
<input type="text"/>	

El desplegable Gravímetro muestra todos los gravímetros que se hayan introducido en la pantalla Gravímetros; a esta pantalla se accede pulsando el botón que se encuentra a la derecha del desplegable.



El funcionamiento de esta pantalla es parecido a la pantalla de BASES, exceptuando la tabla, desde la cual se podrá añadir los valores específicos de cada gravímetro, cuya nombre se añadirá en la caja de texto “Nombre Gravímetro”

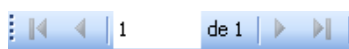


En la tabla se podrá borrar, añadir y modificar todos los registros que se deseen. Para añadir registros se coloca el cursor sobre la última línea vacía y se procederá a escribir los datos en cada campo (**es necesario que se rellenen todos los campos**).



Para suprimir una línea, se selecciona y se pulsa el botón suprimir del teclado.



Para modificar un valor hay que situarse en la línea donde se encuentra el registro y realizar la modificación pertinente.

Barra de tareas:




Indica el número total de elementos y en cual de ellos está posicionado en la tabla. Permite moverse entre los registros con los botones de desplazamiento.

El botón  permite añadir nuevos registros a la tabla. Al pulsarlo, la caja de texto “Nombre de Gravímetro” se vaciará para que se rellene con los nuevos registros a añadir. Para que el alta sea definitiva hay que pulsar el botón 

El botón  permite borrar los registros que estén seleccionados en ese momento en la tabla. Para que el borrado sea definitivo hay que pulsar 

Si se desea modificar algún registro ya introducido, hay que posicionarse en la tabla sobre la línea que contiene los registros a modificar, o moverse al registro deseado con la barra de desplazamiento que se ha visto anteriormente.

Una vez posicionado sobre dicho valor a modificar, la modificación, se realizará en la caja de texto “Nombre de Gravímetro”.

Para que la modificación sea definitiva y/o para que el borrado sea definitivo hay que pulsar el botón 

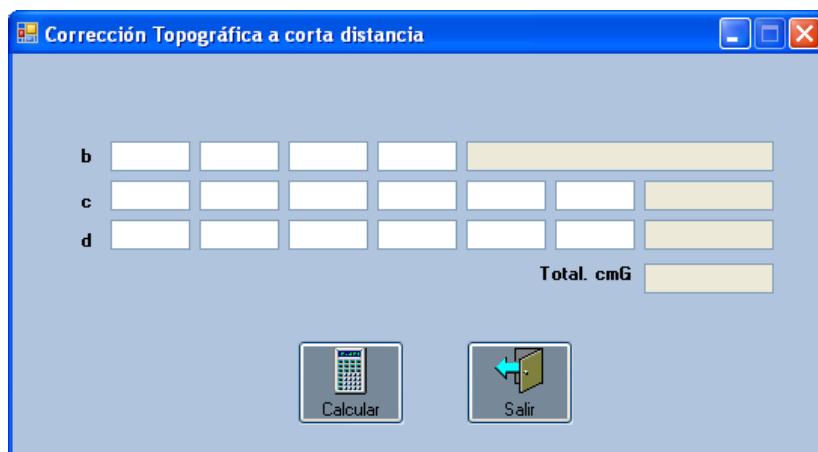
Una vez que se hayan rellenado todos los datos del gravímetro se pulsa el botón salir y se vuelve a la pantalla de datos, comprobando que en el desplegable se ha agregado el gravímetro nuevo.

Tabla de inserción de datos :

	Estación	Hora	Lectura	LS	G.Relativa	T. Relativos	Deriva	G	C.T	
*										<input type="checkbox"/>

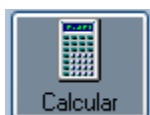
La tabla se rellenará con los registros de campo. Solo están activadas las primeras cuatro columnas para rellenar y **es necesario para el calculo gravimétrico que esos registros estén rellenos al igual que la columna CT.**

En la columna C.T se introducirá la corrección topográfica, directamente no se puede introducir ningún registro en dicha columna, hay que pulsar el botón que se encuentra en la tabla al lado de la columna C.T (se pulsará el botón de cada fila para rellenar su columna correspondiente), de esta forma aparecerá la pantalla de corrección topográfica.



Desde esta pantalla se introducirán los registros topográficos de las coronas B, C y D. Al pulsar el botón calcular se realizarán todos los cálculos y añadirá el valor del campo Total cmGal en la columna CT de la pantalla de datos desde la fila donde se haya pulsado.

Botones de función:



Botón que calcula los datos gravimétricos.



Botón de importación de archivos de tipo txt, que se han generado mediante la aplicación. Al pulsar aparecerá una pantalla desde la cual se elige el archivo que se desea importar.



Botón de exportación de archivos de tipo txt, Al pulsar aparecerá una pantalla desde la cual se da nombre al archivo que desea guardarse.