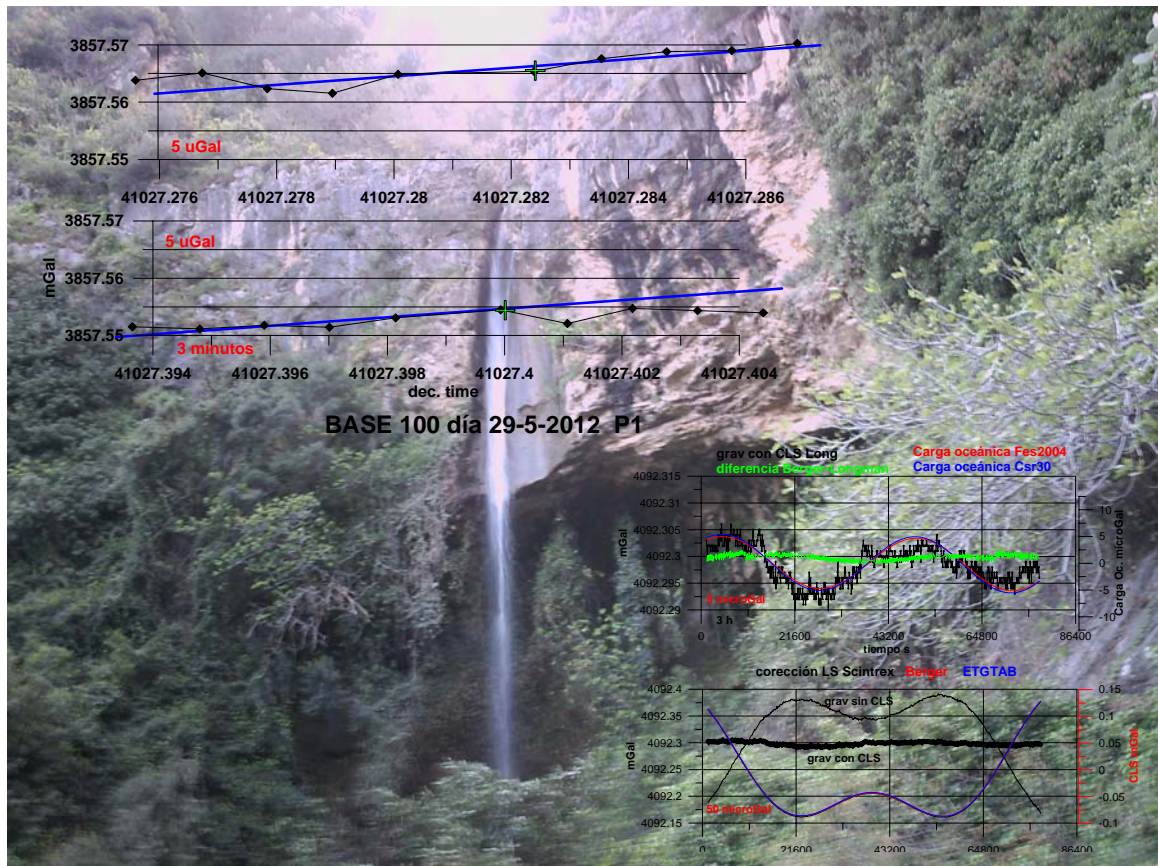


PROYECTO CGL2010-15498  
CONCEPTUALIZACIÓN, CARACTERIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA VARIABILIDAD  
ESPACIO-TEMPORAL DE LA HIDROGEOLOGÍA DEL KARST POR MODELADO INVERSO

KARSTINV



INFORME SOBRE EL ESTUDIO DE MICROGRAVIMETRÍA RELATIVA 4D EN EL  
KARST DE LA SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA). 2011-2012.

tomo 2: ANEXOS

Juan Luís Plata Torres



Grupo de Geofísica del IGME  
Tres Cantos  
Marzo 2013



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD



Instituto Geológico  
y Minero de España



**PROYECTO CGL2010-15498**

**CONCEPTUALIZACIÓN, CARACTERIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA VARIABILIDAD  
ESPACIO-TEMPORAL DE LA HIDROGEOLOGÍA DEL KARST POR MODELADO INVERSO**

## **KARSTINV**

**INFORME FINAL (tomo 2: ANEXOS)**

**SOBRE EL ESTUDIO DE MICROGRAVIMETRÍA RELATIVA  
4D EN EL KARST DE LA SIERRA DE LAS NIEVES  
(MÁLAGA). 2011-2012.**

**Juan Luís Plata Torres**

**Grupo de Geofísica del IGME  
Tres Cantos**

**Marzo 2013**





## ÍNDICE MEMORIA (tomo 1)

<b>0. RESUMEN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>pg. 1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....</b>	<b>pg. 25</b>
<b>2. ANTECEDENTES. LA MICROGRAVIMETRÍA EN INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA .....</b>	<b>pg. 26</b>
2.1 Efectos que produce sobre la gravedad la variación del contenido de agua en las rocas	
2.2 Zonas de influencia	
2.3 El experimento GRACE	
2.4 La Hidrogeología en los estudios de gravimetría absoluta de alta precisión	
2.5 Modelado gravimétrico	
2.6 Gravímetros	
2.7 La paradoja de la placa de Bouguer	
<b>3. MICROGRAVIMETRÍA 4D EN HIDROGEOLOGÍA .....</b>	<b>pg. 41</b>
3.1 Medidas con gravímetros absolutos	
3.2 Medidas con gravímetros relativos	
<b>4. CORRECCIONES EXTERNAS A EFECTUAR A LAS MEDIDAS EN GRAVIMETRÍA RELATIVA..</b>	<b>pg. 45</b>
4.1 Corrección de marea	
4.2 Corrección de carga oceánica	
4.3 Corrección de presión atmosférica	
4.4 Corrección de movimiento polar	
4.5 Corrección por carga hidráulica	
<b>5. OPERATIVIDAD DEL GRAVÍMETRO SCINTREX CG5 .....</b>	<b>pg. 71</b>
5.1 Descripción general del gravímetro	
5.2 Sistema de lectura y grabación de datos	
5.3 Factor de calibración del gravímetro: variable Gcal1	
5.4 Deriva intrínseca o estática del gravímetro: variable Drift	
5.5 Verificaciones efectuadas sobre el comportamiento del gravímetro utilizado	
5.5.1 Precisión de las lecturas.	
5.5.2 Efecto de la desnivelación. Parámetro TILT	
5.5.3 Efecto de la variación de la temperatura. Parámetro TEMP	
5.5.4 Efectos de ruido y golpes. Parámetros SEISMIC FILTER, SD, REJ y DUR	
5.5.5 Efectos de la inexactitud del factor DRIFT de corrección de deriva estática	
5.5.6 Efectos de la deriva estática sobre la deriva residual secular y de trabajo	
5.5.7 El efecto Luni-Solar y de carga oceánica como elementos de control	
5.5.8 El problema de la estabilización	
5.5.9 Estabilización en los programas de lecturas. Influencia en el cálculo de anomalías.	
5.6 Calibración del gravímetro Scintrex CG5#9122 en 2011	

<b>6. PLANTEAMIENTO TEÓRICO INICIAL DEL EXPERIMENTO .....</b>	<b>pg. 141</b>
6.1 Características de la zona de ensayo	
6.2 Evaluación de la amplitud y anchura de las posibles anomalías	
6.2.1 Hipótesis de distribución de masas de agua	
6.2.2 Anomalía gravimétrica para la primera hipótesis	
6.2.3 Anomalía gravimétrica para la segunda hipótesis	
6.2.4 Anomalía gravimétrica para la tercera hipótesis	
6.3 Distancia entre mediciones	
<b>7. PREPARACIÓN DE LA CAMPAÑA .....</b>	<b>pg. 155</b>
7.1 Itinerarios	
7.2 Señalización de estaciones	
7.3 Ubicación de la base	
7.4 Medición de coordenadas X, Y, Z de las estaciones	
7.5 Delimitación de sectores para corrección Luni-Solar y de carga oceánica	
7.6 Equipo de trabajo en campo	
<b>8. EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA DE AGOSTO DE 2011 .....</b>	<b>pg. 175</b>
8.1 Unión de bases B1-B2-B3	
8.2 Aspectos generales de los programas de medición	
8.3 Verificación de la necesidad de corrección por presión atmosférica	
8.4 Inclusión de la corrección Luni-Solar y por carga oceánica	
8.5 Criterio para la selección de lecturas	
8.6 Cálculo y corrección de la deriva de trabajo	
8.7 Cálculo de la anomalía relativa a11	
8.8 Control del gravímetro en la Base100	
8.9 Análisis de las anomalías obtenidas por las repeticiones de control	
8.10 Anomalías finales a11	
8.11 Anomalía de Bouguer	
<b>9. EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA DE MAYO-JUNIO DE 2012 .....</b>	<b>pg. 221</b>
9.1 Verificación de la unión de bases B1-B2-B3. Posibles causas de variación	
9.2 Aspectos generales de los programas de medición	
9.3 Verificación de la necesidad de corrección por presión atmosférica	
9.4 Inclusión de la corrección Luni-Solar y por carga oceánica	
9.5 Selección de lecturas	
9.6 Cálculo y corrección de la deriva de trabajo	
9.7 Cálculo de la anomalía relativa a12	
9.8 Control del gravímetro en la Base100. Comparación de campañas	
9.9 Análisis de las anomalías obtenidas por las repeticiones de control	
9.10 Anomalías a12 finales	

<b>10. EVALUACIÓN DE ERRORES .....</b>	<b>pg. 259</b>
<b>10.1 Errores por precisión instrumental</b>	
<b>10.2 Errores por deriva instrumental</b>	
<b>10.3 Errores por estabilización instrumental</b>	
<b>10.4 Errores por precisión en la evaluación de las variaciones externas</b>	
<b>10.5 Error intrínseco de las anomalías</b>	
<b>10.6 Evaluación de errores por repeticiones de control</b>	
<b>11. COMPARACIÓN ENTRE LAS ANOMALÍAS DE 2011 Y 2012.</b>	
<b>FIABILIDAD DEL RESULTADO .....</b>	<b>pg. 269</b>
<b>12. ANOMALÍAS 4D .....</b>	<b>pg. 277</b>
<b>12.1 Cálculo de las anomalías 4D</b>	
<b>12.2 Distribución del error y de las anomalías 4D</b>	
<b>12.3 Evaluación de la fiabilidad de las anomalías 4D</b>	
<b>13. INTERPRETACIÓN DE LAS ANOMALÍAS 4D .....</b>	<b>pg. 295</b>
<b>14. SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA DESARROLLADA .....</b>	<b>pg. 305</b>
<b>15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>pg. 319</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS (tomo 2)

### ANEXO I

#### CALIBRACIÓN GRAVÍMETRO SCINTREX CG5 #9122 el 1-JULIO-2011

I-1. DATOS DE PARTIDA .....	pg. 325
I-1.1 Bases del IGN utilizadas	
I-1.2 Parámetros de adquisición de datos	
I-1.3 Resultado de las lecturas y ficheros generados	
I- 2. SELECCIÓN DE LECTURAS	
I-3. CALCULO DE LA DERIVA	
I-4. CALIBRACIÓN UTILIZANDO LA DERIVA DE CADA SEGMENTO. Método (1)	
I-4.1 Cálculo de la gravedad en cada tiempo por interpolación	
I-4.2 Cálculo de incrementos de gravedad entre bases	
I-4.3 Coeficiente de calibración	
I-5. CALIBRACIÓN CORRIENDO CON LA DERIVA TOTAL DE HONRUBIA. Método (2)	
I-6. RESUMEN Y NUEVA CONSTANTE DE CALIBRACIÓN	
I-7. VERIFICACIÓN DE LA NUEVA CONSTANTE	

### ANEXO II

#### POSICIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MEDICIÓN GRAVIMÉTRICA

II-1 Coordenadas y situación geológica de las estaciones .....	pg. 345
II- 2 Leyenda con el código identificador de la geología	
II-3 Observaciones sobre la situación de las estaciones	
II-4 Situación de itinerarios	
II-5 Fotos y mapas de detalle de las estaciones, ordenadas por itinerarios	

### ANEXO III

#### EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA DE AGOSTO DE 2011

- Gráficos del efecto de la presión atmosférica .....pg. 401
- Gráficos de lecturas en base y estaciones de los programas de gravimetría

**ANEXO IV**

**EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA DE MAYO-JUNIO DE 2012**

- Gráficos del efecto de la presión atmosférica .....pg. 453
- Gráficos de lecturas en base y estaciones de los programas de gravimetría
- Análisis de la estabilización de lecturas

**ANEXO V**

**ANÁLISIS DE LA CORRECCIÓN LUNI-SOLAR Y CARGA OCEÁNICA POR QUICK-TIDE**

- V-1 MÉTODOS DISPONIBLES PARA LA CORRECCIÓN LS Y DE CO .....pg. 511
- V-1.1 Comparación entre los modelos proporcionados por el software QuickTide
  - V-1.2 Comparación con la corrección LS del gravímetro Scintrex CG5
- V-2 RESULTADO DE LA APLICACIÓN DE LAS CORRECCIONES LS Y CO A LAS LECTURAS DEL CG5
- V-3 EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA POSICIÓN GEOGRÁFICA Y ALTITUD
- V-4 ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS DE CORRECCIÓN PARA INTERVALOS DE POCAS HORAS
- V-5 ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS DE CORRECCIÓN PARA INTERVALOS INFERIORES A UNA HORA
- V-6 VARIACIONES EN PERIODOS DE 10 MINUTOS (CICLOS DE LECTURA)
- V-7 RESUMEN DE MODELOS EMPLEADOS EN LAS CORRECCIONES
- V-8 CORRELACIÓN ENTRE LOS EFECTOS RESIDUALES Y LAS VARIACIONES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA

**ANEXO DIGITAL**

- Presentación del contenido .....pg. 545
- CD

[Página dejada intencionadamente en blanco]

## **ANEXO I**

### **CALIBRACIÓN GRAVÍMETRO SCINTREX CG5 #9122 1-JULIO-2011**

[Página dejada intencionadamente en blanco]



## **CALIBRACIÓN GRAVÍMETRO SCINTREX CG5 #9122 1-JULIO-2011**

### **I-1 DATOS DE PARTIDA**

- I-1.1 Bases del IGN utilizadas**
- I-1.2 Parámetros de adquisición de datos**
- I-1.3 Resultado de las lecturas y ficheros generados**

### **I-2 SELECCIÓN DE LECTURAS**

### **I-3 CALCULO DE LA DERIVA**

### **I-4 CALIBRACIÓN UTILIZANDO LA DERIVA DE CADA SEGMENTO. Método (1)**

- I-4.1 Cálculo de la gravedad en cada tiempo por interpolación**
- I-4.2 Cálculo de incrementos de gravedad entre bases**
- I-4.3 Coeficiente de calibración**

### **I-5 CALIBRACIÓN CORRIGIENDO CON LA DERIVA TOTAL DE HONRUBIA. Método (2)**

### **I-6 RESUMEN Y NUEVA CONSTANTE DE CALIBRACIÓN**

### **I-7 VERIFICACIÓN DE LA NUEVA CONSTANTE**

[Página dejada intencionadamente en blanco]

## I-1 DATOS DE PARTIDA

### I-1.1 Bases del IGN utilizadas

Pertencen a la Línea de Calibración Santander-Málaga del Instituto Geográfico Nacional, con valores de gravedad absoluta:

Base	Símbolo	Cota m	G ficha mGal	G tablas mGal
Honrubia de la Cuesta	H	997	980035.70	980035.66
Cerezo de Abajo	C	1046.4	979976.06	979976.05
Lozoyuela	L	1028.0	979938.40	979938.39

Incrementos: **H-C 59.61 mGal tablas** (59.64 fichas)  
**H-L 97.27 mGal** (97.30 fichas)  
**C-L 37.66 mGal** (37.66 fichas)

Los valores de gravedad absoluta de esta línea de calibración están especificados en las fichas del IGN en mGal con apreciación de 0.01 mGal. El valor “en tablas” se refiere al dado por las Tablas de valores de esta línea, también según el propio IGN, en las que existe diferencia con la indicada en las fichas. El valor de las tablas ha sido el adoptado para la calibración.

### I-1.2 Parámetros de adquisición de datos

```
CG-5 SURVEY
/ Survey name: CALIBRACION
/ Instrument S/N: 9122
/ Client:
/ Operator: J.M. Llorente
/ Date: 2011/ 6/30
/ Time: 10:04:33
/ LONG: 3.6000000 W
/ LAT : 41.3000000 N
/ ZONE : 0
/ GMT DIFF. : 0.0
```

```
/CG-5 SETUP PARAMETERS
/ Gref: 0.000
/ Gcal1: 8928.586
/ TiltxS: 430.545
/ TiltyS: 424.105
/ TiltxO: 45.104
/ TiltyO: -44.814
/ Tempco: -0.141
/ Drift: 0.293
/ DriftTime Start: 06:54:11
/ DriftDate Start: 2011/06/24
```

```
/CG-5 OPTIONS
/ Tide Correction: YES
/ Cont. Tilt: YES
/ Auto Rejection: YES
/ Terrain Corr.: NO
/ Seismic Filter: YES
/ Raw Data: NO
```

Todas las estaciones se han medido con la misma rutina de lectura:

- Se bloqueó uno de los tornillos de nivelación para que la altura del sensor sea siempre la misma.

- En cada estación se marcó la posición de las patas del trípode para medir siempre en la misma posición.
- Tras estacionar y nivelar el gravímetro se ha dejado aproximadamente 2 minutos de estabilización.
- A continuación se han corregido los niveles y se ha comenzado a medir con una secuencia de 5 ciclos de lecturas de 90 segundos cada uno.

Al comenzar la calibración el día 30/06/2011 el gravímetro se quedó sin batería, por lo que hubo que instalar una nueva y mantenerlo enchufado a la red eléctrica para dejar que se estabilizara la temperatura durante 2 horas aproximadamente. Tras comprobar la normalización de las lecturas se comenzó la calibración entre las bases de Honrubia de la Cuesta – Cerezo de Abajo y Lozoyuela. Esta calibración se repitió al día siguiente, para mayor seguridad en el comportamiento del gravímetro, apreciándose mejor estabilidad que el día anterior (Figura I-1), por lo que han sido las medidas del 1 de julio las utilizadas en el cálculo.

El 1 de julio el programa se ha abierto en la base de Honrubia y se han hecho cuatro itinerarios, con el resultado de disponer de dos lecturas en Lozoyuela, tres en Honrubia y cuatro en Cerezo (el 30 de junio se hicieron cinco itinerarios, como se refleja en la Figura I-1).

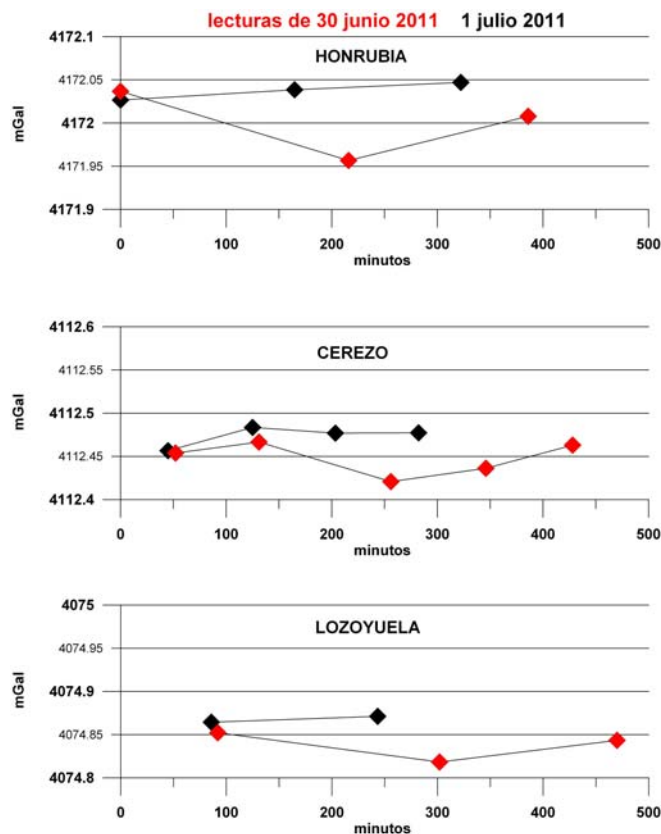


Fig. I-1 Comparación entre las lecturas del 30 junio y 1 julio. Tiempos reducidos a la primera lectura en Honrubia

I-1.3 Resultado de las lecturas y ficheros generados

- fichero 30 jun 1 jul2011.txt: lecturas de gravímetro, incluidas prueba tras poner nueva batería
- fichero Calibración 1 jul 2011.txt: sólo contiene las lecturas de calibración del 1 julio
- datos calibración 1-07-11.xls: contenido del txt, incluyendo cálculo de valores medios de lecturas (Tabla I-1).

STATION	GRAV.	SD.	error a med	abs error	TILTX	TILTY	TEMP	TIDE	DUR	REJ	TIME
H1	4172,024	0,009	0,003	0,003	2,8	-4,7	1,37	-0,01	90	0	07:56:39
H1	4172,026	0,010	0,001	0,001	1,9	-6,7	1,32	-0,009	90	0	07:58:18
H1	4172,028	0,014	-0,001	0,001	0,8	-9,2	1,24	-0,008	90	0	07:59:54
H1	4172,027	0,007	0,000	0,000	-0,4	-9,8	1,16	-0,006	90	0	08:01:30
H1	4172,029		-0,002	0,002							8:03:30
<b>H1 medio</b>	<b>4172,027</b>	<b>0,008</b>		<b>0,001</b>							
C1	4112,455	0,007	0,002	0,002	-4,4	1	1,31	0,027	90	0	08:41:40
C1	4112,457	0,007	0,000	0,000	-6	0,1	1,27	0,029	90	0	08:43:19
C1	4112,457	0,009	0,000	0,000	-8	0,3	1,21	0,03	90	0	08:44:55
C1	4112,456	0,011	0,001	0,001	-8,8	-0,3	1,14	0,032	90	7	08:46:31
C1	4112,458	0,009	-0,001	0,001	-8,3	-1,3	1,07	0,033	90	0	08:48:08
<b>C1 medio</b>	<b>4112,457</b>	<b>0,009</b>		<b>0,001</b>							
L1	4074,867	0,007	-0,003	0,003	3	1	1,46	0,064	90	0	09:22:26
L1	4074,865	0,005	-0,001	0,001	3,6	0,5	1,42	0,065	90	0	09:24:05
L1	4074,863	0,007	0,001	0,001	4,1	0,1	1,36	0,066	90	0	09:25:41
L1	4074,863	0,006	0,001	0,001	4,5	-0,3	1,28	0,068	90	0	09:27:17
L1	4074,864	0,007	0,000	0,000	4,7	-1	1,2	0,069	90	0	09:28:54
<b>L1 medio</b>	<b>4074,864</b>	<b>0,006</b>		<b>0,001</b>							
C2	4112,485	0,010	-0,003	0,003	-0,4	2	1,42	0,096	90	0	10:01:36
C2	4112,483	0,008	-0,001	0,001	0,5	1,4	1,36	0,098	90	0	10:03:15
C2	4112,482	0,007	0,000	0,000	1,1	0,9	1,29	0,098	90	0	10:04:51
C2	4112,482	0,006	0,000	0,000	2,1	0,2	1,21	0,1	90	4	10:06:27
C2	4112,480	0,012	0,002	0,002	2,4	0	1,13	0,101	90	2	10:08:04
<b>C2 medio</b>	<b>4112,482</b>	<b>0,009</b>		<b>0,001</b>							
H2	4172,042	0,007	-0,004	0,004	2,4	-3,1	1,35	0,124	90	0	10:41:21
H2	4172,040	0,008	-0,002	0,002	0,3	-5,5	1,32	0,125	90	0	10:43:00
H2	4172,038	0,008	0,000	0,000	-2,6	-6,7	1,27	0,126	90	0	10:44:36
H2	4172,036	0,010	0,002	0,002	-3,8	-8,3	1,21	0,127	90	0	10:46:12
H2	4172,036	0,007	0,002	0,002	0,2	-4	1,14	0,128	90	0	10:47:49
<b>H2 medio</b>	<b>4172,038</b>	<b>0,008</b>		<b>0,002</b>							
C3	4112,479	0,011	-0,002	0,002	1,2	2,1	1,32	0,144	90	5	11:20:03
C3	4112,477	0,008	0,000	0,000	2,4	1,4	1,3	0,145	90	0	11:21:42
C3	4112,477	0,007	0,000	0,000	3,3	0,7	1,25	0,145	90	0	11:23:18
C3	4112,475	0,010	0,002	0,002	4,5	0	1,19	0,146	90	0	11:24:54
C3	4112,476	0,008	0,001	0,001	4,9	-0,5	1,12	0,147	90	0	11:26:31
<b>C3medio</b>	<b>4112,477</b>	<b>0,009</b>		<b>0,001</b>							
L2	4074,873	0,008	-0,002	0,002	-1,5	0,5	1,39	0,155	90	0	12:00:06
L2	4074,873	0,005	-0,002	0,002	-0,6	0,2	1,34	0,155	90	0	12:01:45
L2	4074,872	0,006	-0,001	0,001	-0,6	0,1	1,27	0,156	90	0	12:03:21
L2	4074,869	0,012	0,002	0,002	0	0	1,2	0,156	90	0	12:04:57
L2	4074,869	0,008	0,002	0,002	0,5	-0,1	1,13	0,156	90	2	12:06:34
<b>L2 medio</b>	<b>4074,871</b>	<b>0,008</b>		<b>0,002</b>							
C4	4112,480	0,007	-0,003	0,003	-0,5	0,1	1,36	0,156	90	0	12:38:55
C4	4112,477	0,005	0,000	0,000	-1,9	0,2	1,31	0,156	90	0	12:40:34
C4	4112,476	0,006	0,001	0,001	-2,7	0	1,25	0,155	90	0	12:42:10
C4	4112,477	0,007	0,000	0,000	-3,4	-0,2	1,19	0,155	90	0	12:43:46
C4	4112,476	0,008	0,001	0,001	-3,7	-0,5	1,12	0,155	90	0	12:45:23
<b>C4 medio</b>	<b>4112,477</b>	<b>0,007</b>		<b>0,001</b>							
H3	4172,052	0,009	-0,005	0,005	-6,2	-5,1	1,49	0,146	90	0	13:18:49
H3	4172,048	0,006	-0,001	0,001	-4,5	-8,2	1,43	0,145	90	0	13:20:28
H3	4172,047	0,006	0,000	0,000	-3,5	-10,3	1,36	0,145	90	0	13:22:04
H3	4172,045	0,007	0,002	0,002	-2,8	-11,1	1,28	0,144	90	0	13:23:40
H3	4172,043	0,009	0,004	0,004	0,2	-3,3	1,2	0,143	90	0	13:25:17
<b>H3 medio</b>	<b>4172,047</b>	<b>0,007</b>		<b>0,002</b>							

Tabla I-1 Fichero datos calibración 1-07-11.xls (hoja reducido: eliminadas columnas Line, alt, dec.time y date)

Para cada ciclo de 90 s en una estación (540 muestras), el gravímetro proporciona el resultado GRAV con su desviación Standard SD. En el proceso de la señal, el CG5 calcula la SD cada segundo (cada 6 muestras), y se rechaza la muestra cuya diferencia con la media supere 4 veces la SD. El número de muestras rechazadas se indica en la columna REJ. En la hoja Excel se ha calculado el valor medio de GRAV y SD para los cinco ciclos, que aparece en **negrita** en cada bloque de la Tabla I-1. También se ha calculado la diferencia entre el valor de GRAV de cada ciclo y la media (columna error a med.), su valor absoluto (abs. error) y el valor medio. Aunque no se dispone de valores absolutos en las bases nada más que con precisión de 0.01 mGal, en los cálculos se ha estimado hasta 0.001 mGal.

- **derivadas.xls**: calculo de derivas parciales y totales de todos los segmentos entre bases. Reducción de tiempos a minutos.
- **todas bases**: cálculos de interpolación de lecturas, corrección de deriva y calibración
- **cambio constante 29 jul 2011.xls**: lecturas gravímetro y cálculos con nueva constante de calibración

## I- 2 SELECCIÓN DE LECTURAS

En la Figura I-2 se representan la gravedad leída en todos los ciclos de lectura, indicando el valor medio adoptado. Es de notar que la tendencia en todas las bases es a disminuir los valores de los sucesivos ciclos (excepto en la primera lectura en Honrubia y Cerezo) y de ratio muy similar en todas ellas. El valor medio, asignado al tiempo medio, coincide con haber tomado el tercer ciclo de cada determinación.

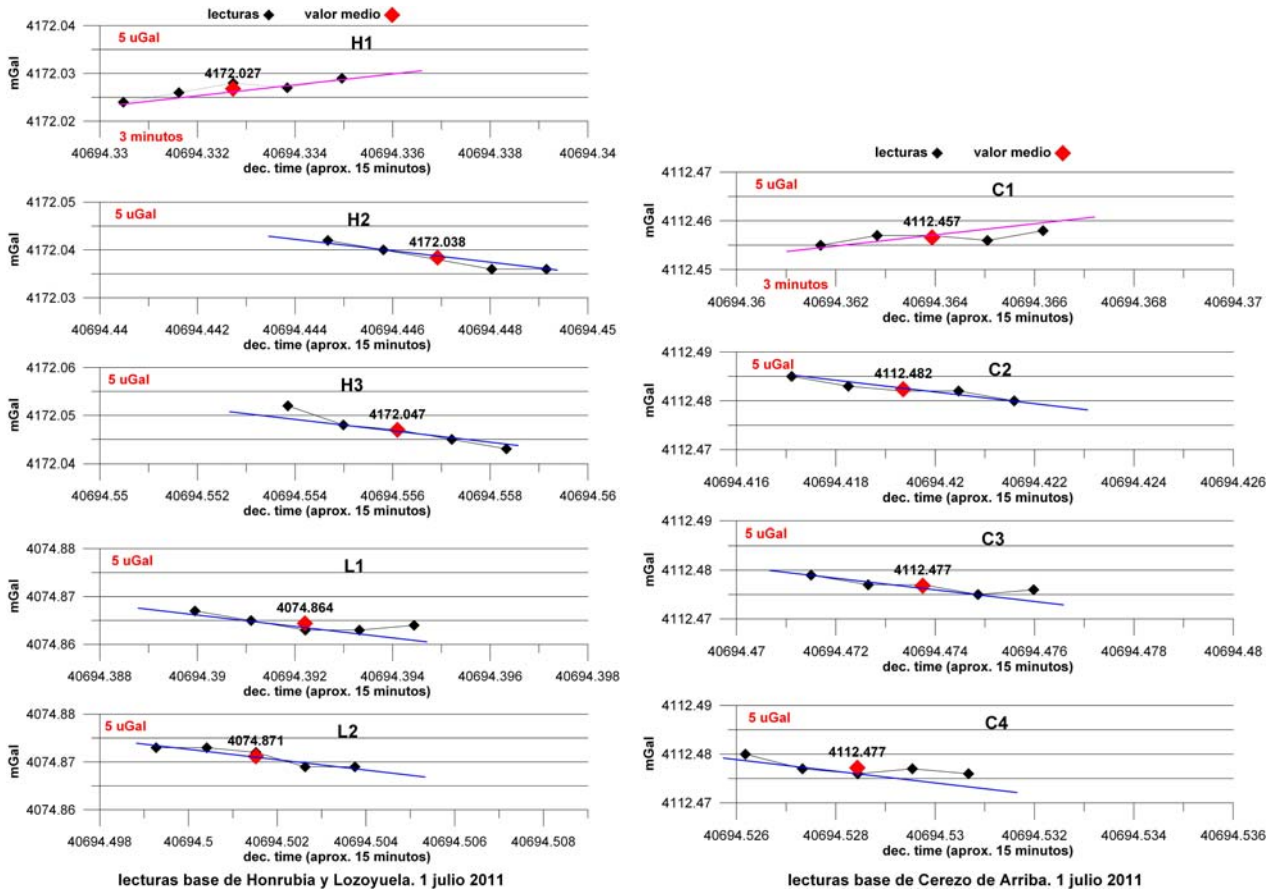


Fig. I-2 Lecturas en las bases de Honrubia, Cerezo y Lozoyuela. Rombo rojo: valor medio adoptado.

La desviación estándar SD (Tabla I-2) está entre 0.007 y 0.009 mGal, indicando condiciones medias de ruido externo. El mayor valor de SD y número de rechazos se observa en la segunda lectura de la estación de Cerezo C2. El error o desviación de los valores respecto de su media es inferior a  $\pm 2 \mu\text{Gal}$ , por lo que puede aceptarse que las mediciones tienen una calidad buena, con la precisión teórica del CG5.

STATION	GRAV. mGal	SD. mGal	abs error mGal	REJ
H1	4172,027	0,008	0,001	0
H2	4172,038	0,008	0,002	0
H3	4172,047	0,0074	0,002	0
C1	4112,457	0,0086	0,001	7
C2	4112,482	0,0086	0,001	4 y 2
C3	4112,477	0,0088	0,001	5
C4	4112,477	0,0066	0,001	0
L1	4074,864	0,0064	0,001	0
L2	4074,871	0,0078	0,002	0

Tabla I-2 Resumen de valor adoptado para las lecturas en las bases de calibración

### I-3 CALCULO DE LA DERIVA

En la Figura I-3 se presenta el conjunto de todas las lecturas en las bases y su valor medio, en función del tiempo en minutos desde el tiempo medio inicial de las lecturas en la base de Honrubia. La pendiente de las líneas que unen cada par de valores medidos en cada base (p.e.. H1-H2, o L1-L2) refleja la deriva del gravímetro, que, en principio debería ser la misma, al menos en los mismos intervalos de tiempo. Se indica para cada base los valores interpolados en cada segmento para los tiempos de lectura en las restantes bases.

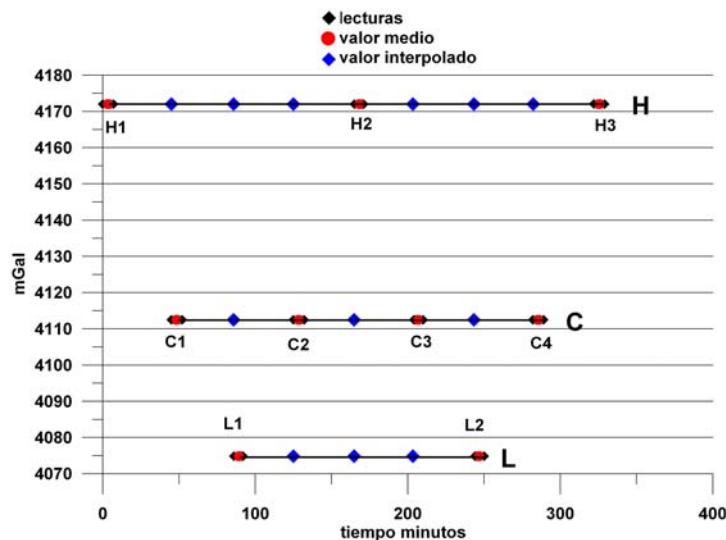


Fig. I-3 Lecturas y deriva del conjunto de bases en el rango total de 97 mGal

En la representación de la Figura I-3 no se puede apreciar gráficamente las diferentes derivas de cada segmento base-base, por lo que se han representado en gráficos independientes (Figura I-4) con apreciación de 0.001 mGal. Las derivas de la base H se han trasladado a las base C y L (línea roja). Resulta evidente que las lecturas en la base de Cerezo presentan mayor desviación, en congruencia con

la SD y rechazos observados, en particular durante la segunda lectura C2<sup>1</sup>, que tiene una desviación del orden de 0.01 mGal.

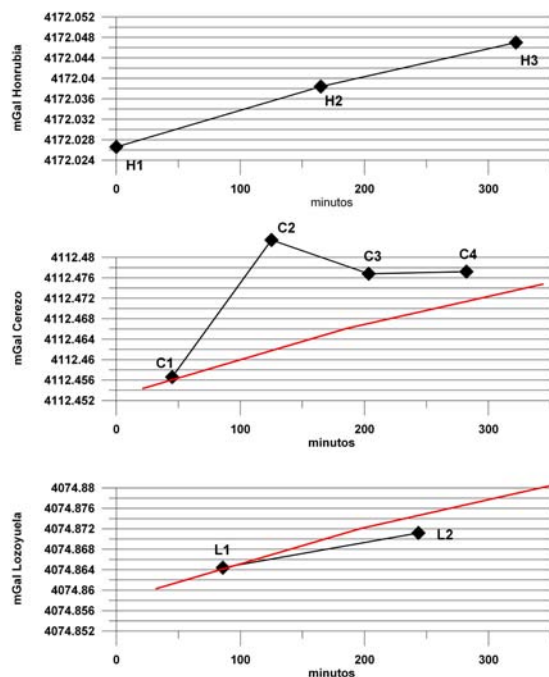


Fig. I-4 Lecturas medias y deriva en cada base, con rango total de escala de 0.028 mGal (0.002 mGal por división)

Se ha procedido a calcular la deriva de cada segmento de lecturas para cada base, a partir de las lecturas medias asignadas al tiempo medio de cada estancia en base, mediante diferencia de lecturas dividida por diferencia de tiempos. El resultado está recogido en la Tabla I-3. Para las bases de Cerezo y de Honrubia se ha obtenido además la deriva considerando solamente la primera y última lectura. El valor medio se refiere al conjunto de todas las derivas calculadas. Se ha expresado además su valor en mGal/día (la deriva estática del gravímetro es de 0.293 mGal/día).

enlace	deriva mGal/min	deriva mGal/h	deriva mGal/día
H1-H2	7,03883E-05	0,00422	<b>0,101</b>
H2-H3	5,46379E-05	0,00328	<b>0,079</b>
H1-H3	6,2694E-05	0,00376	<b>0,090</b>
C1-C2	0,0003225	0,01935	<b>0,464</b>
C2-C3	-7,14286E-05	-0,00429	<b>-0,103</b>
C3-C4	5,07614E-06	0,00030	<b>0,007</b>
C1-C4	8,68465E-05	0,00521	<b>0,125</b>
L1-L2	4,31472E-05	0,00259	<b>0,062</b>
<b>promedio</b>	<b>7,17327E-05</b>	<b>0,00430</b>	<b>0,103</b>

Tabla I-3. Calculo de derivas parciales. Fichero derivas.xls hoja: reducido

En la Figura I-5 se representan gráficamente las derivas en mGal/día. Las calculadas en Honrubia y Lozoyuela están bien agrupadas, pudiendo aceptar también el tercer segmento de Cerezo C4-C3. El valor

<sup>1</sup> Aunque en la escala utilizada en la Figura I- el valor de la esta lectura aparece con una gran desviación, supone tan sólo unos 0.015 mGal, valor aceptable en gravimetría ordinaria.



promedio puede representar bien el conjunto, siendo inadecuadas las derivas del primer y segundo segmento de Cerezo (C2-C1, C3-C2).

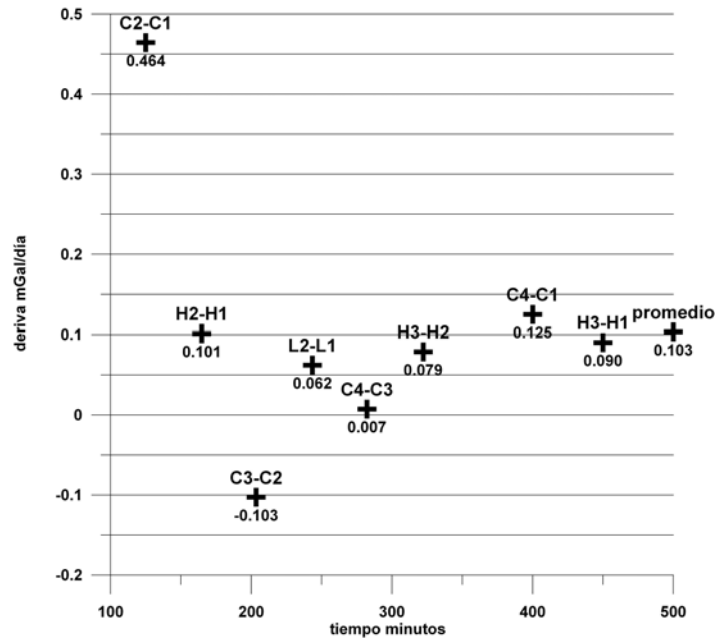


Fig. I-5 Derivas de cada enlace entre bases en mGal/día.

El manual de Scintrex indica que se tome para el cálculo de la deriva exclusivamente la primera y última lectura en la primera base, ya que propone un método de calibración en el que únicamente se leen una vez las bases intermedias (secuencia H-C-L-H). A fin de verificar la repercusión del método utilizado para la aplicación de la deriva en el cálculo de los incrementos de valores entre bases, se van a seguir dos diferentes métodos de calibración:

- 1) Interpolación de valores utilizando la deriva de cada segmento para cada base.
- 2) Corrigiendo todas las lecturas según la deriva total en Honrubia respecto al tiempo inicial en Honrubia.

## I-4 CALIBRACIÓN UTILIZANDO LA DERIVA DE CADA SEGMENTO. Método (1)

### I-4.1 Cálculo de la gravedad en cada tiempo por interpolación

En primer lugar se va a calcular para cada segmento entre lecturas en base los valores interpolados a los tiempos de lectura en las demás bases, utilizando las derivas de cada segmento (Figura I-6). Por ejemplo: el valor HC1 es la gravedad que se hubiera leído en la base H para el tiempo en que se efectuó la lectura C1 en la base C, según la evolución de la deriva en el segmento H1-H2. Se han calculado así los valores HC1, HL1, HC2, HC3, HL2 y HC4 para la base H, valores CL1, CH2 y CL2 para la base C, y valores LC2, LH2 y LC3 para la base L. Los valores interpolados se han obtenido sumando al valor inicial de cada segmento el producto de la deriva de dicho segmento multiplicado por el tiempo desde el inicio del intervalo al tiempo de interpolación. Por ejemplo, para la base Honrubia, el valor HC3, en el que existe la lectura real C3 en Cerezo en el tiempo 203.4 minutos, se obtiene por

$$HC3(203.4) = 4172,038 + 5,46379E-05 \times (203.4 - 164.8)$$

Lectura en H2 4172.038 mGal, a los 164.8 min  
 Deriva segmento H2-H3  $5.4637 \cdot 10^{-5}$  mGal/min

Estas interpolaciones están indicadas de forma general en la Figura I-3 y en detalle en la Figura I-6. El resultado de los cálculos se encuentra en la Tabla I-4.

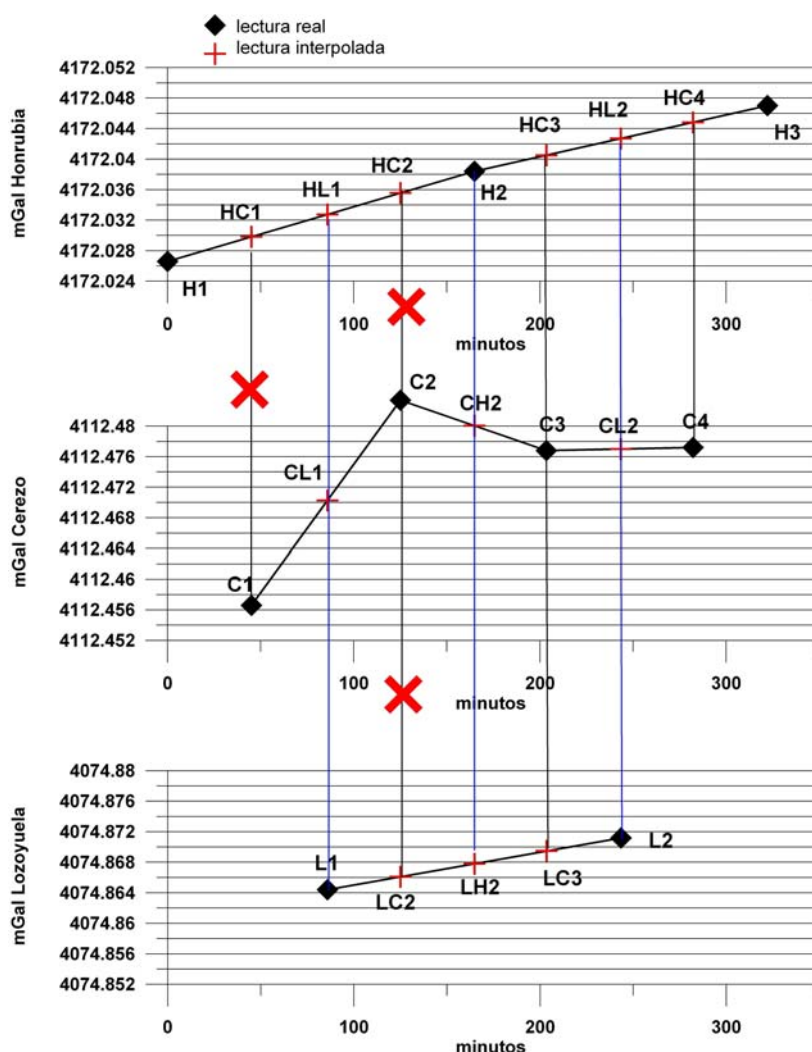


Fig. I-6 Cálculo de los valores interpolados y de los incrementos de gravedad entre bases según la deriva de cada segmento. Aspa roja: enlaces con menor fiabilidad.

ESTACION	LECTURA	INTERPOLADA	t minutos	deriva	intervalo deriva
H1	4172,027		0		
H2	4172,038		164,8	7,16019E-05	H1-H2
H3	4172,047		322,2	5,46379E-05	H2-H3
				6,33147E-05	H1-H3
HC1		4172,030	45		
HC2		4172,036	125		
HC3		4172,041	203,4		
HC4		4172,045	282,2		
HL1		4172,033	85,8		
HL2		4172,043	243,4		
C1	4112,457		45		
C2	4112,483		125	0,000335	C1-C2
C3	4112,477		203,4	-8,41837E-05	C2-C3
C4	4112,477		282,2	5,07614E-06	C3-C4
				8,68465E-05	C1-C4
CH2		4112,480	164,8		
CL1		4112,470	85,8		
CL2		4112,477	243,4		
L1	4074,864		85,8		
L2	4074,871		243,4	4,31472E-05	L1-L2
LC2		4074,866	125		
LC3		4074,869	203,4		
LH2		4074,868	164,8		

Tabla I- 4 Cálculo de los valores interpolados.

#### I-4.2 Cálculo de incrementos de gravedad entre bases

De esta forma se dispone (Figura I-6) de tres estimaciones de la diferencia de gravedad entre Honrubia y Lozoyuela (HL1-L1, H2- LH2 y HL2-L2), cuatro entre Lozoyuela y Cerezo (CL1-L1, C2-LC2, C3-LC3 y CL2-L2) y cinco entre Honrubia y Cerezo (HC1-C1, HC2-C2, H2-CH2, HC3-C3 y HC4-C4). Para cada tiempo de lectura en cada base se ha calculado la diferencia entre la gravedad medida y la gravedad interpolada a ese tiempo en las otras dos bases. En la Tabla I-5 se presenta el resultado del cálculo efectuado, indicado el valor medio para cada unión y las diferencias entre cada incremento y su valor medio (dif a med). La representación gráfica de estos valores se encuentra en la Figura I-7.

diferencias	H-C	H-L	L-C	t minutos	dif a med
<b>HC1-C1</b>	59,573			45	-0,010
<b>HC2-C2</b>	59,552			125	0,011
<b>HC3-C3</b>	59,564			203,4	-0,001
<b>HC4-C4</b>	59,568			282,2	-0,005
<b>HL1-L1</b>		97,168		85,8	0,002
<b>HL2-L2</b>		97,171		243,4	-0,001
<b>CH2-H2</b>	59,558			164,8	0,005
<b>CL1-L1</b>			37,606	85,8	0,003
<b>CL2-L2</b>			37,606	243,4	0,003
<b>LC2-C2</b>			37,617	125	-0,008
<b>LC3-C3</b>			37,607	203,4	0,002
<b>LH2-H2</b>		97,171		164,8	0,000
valor medio	59,563	97,170	37,609		

Tabla I-5 Cálculo de incrementos de gravedad entre bases para todos los tiempos interpolados. En color rojo se indican los enlaces con mayor desviación.

Según el manual de Scintrex, el error de medición de incrementos de gravedad con el CG5 tiene una precisión del 0.01% de dicho incremento. En la Tabla I-6 se resumen los incrementos medidos, los incrementos reales (IGN), las diferencias entre ambos incrementos en valor absoluto y en %, y el error admisible (0.01% del valor IGN):

media HC	59,563		
media HL		97,170	
media CL			37,609
dif IGN HC	59,610		
dif IGN HL		97,270	
dif IGN CL			37,660
dif IGN-SCX mGal	0,047	0,100	0,051
dif IGN-SCX %	0,079	0,103	0,135
error admis. mGal( 0,01%)	0,006	0,010	0,004

Tabla I-6 Comparación de incrementos medidos y valores del IGN.

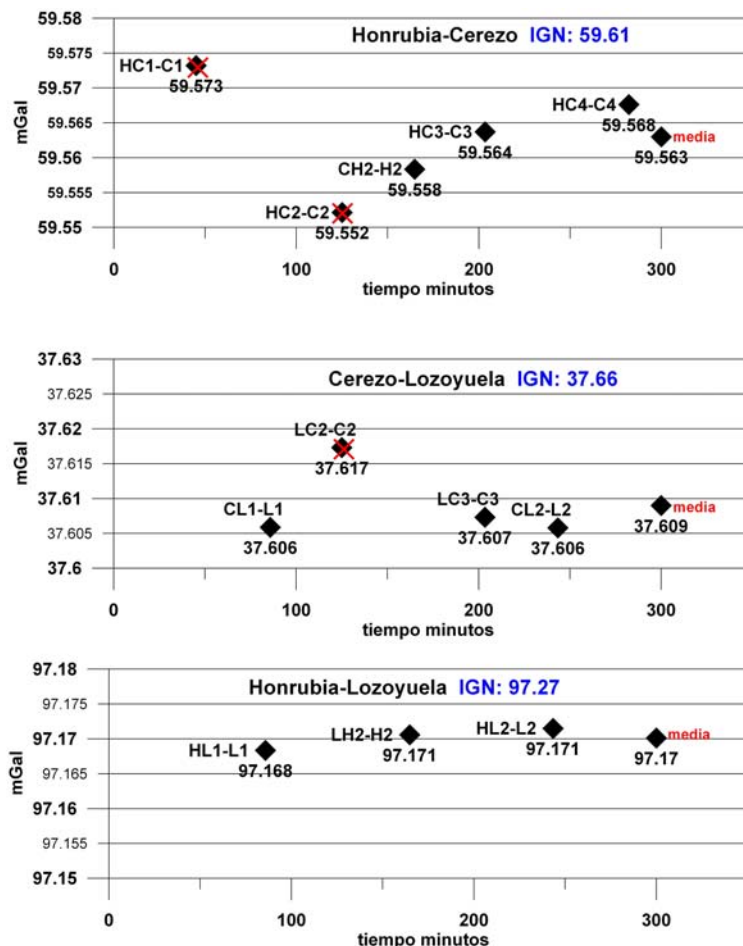


Fig. I-7 Diferencias de gravedad entre bases para todos los tiempos interpolados, con indicación del valor medio. Los valores con mayor dispersión, que no serán tenidos en cuenta, se indican con aspa en color rojo.

- Para el enlace H-C, la diferencia de gravedad IGN es 59.610 mGal. El error asumible es 0.006 mGal. El valor medio total calculado es de 59.563 mGal, con diferencia de 0.047 mGal, que es ocho veces el error admisible, lo que puede considerarse como debido a una variación real de la constante de calibración, ya que resulta muy elevado para asignarlo a errores de lectura. Los

incrementos determinados tienen una dispersión superior a 0.010 mGal respecto del valor medio (Tabla I-5 y Fig. I-7) en los empalmes con C1 y C2, que afectan a una de las lecturas más dudosas de la base de Cerezo. En consecuencia, sólo deben considerarse los demás valores, cuya media sigue siendo 59.563 mGal

- Para el enlace L-C, la diferencia IGN=37.660 mGal. El error posible es de 0.004 mGal. El valor medio total de la unión es de 37.609 mGal, con diferencia respecto del teórico de 0.051 mGal, que es trece veces el error admisible, lo que igual que en el enlace H-C puede considerarse como variación de la constante de calibración. Los incrementos determinados tienen una dispersión inferior a 0.003 mGal respecto del valor medio (Tabla I-5 y Fig. I-7), excepto el empalme con C2, sin cuya inclusión se obtiene un valor medio de 37.606 mGal.
- Para el enlace H-L, la diferencia IGN es 97.270 mGal, con error posible de 0.010 mGal. El valor medio total de la unión es de 97.170 mGal, con diferencia de 0.100 mGal, que es diez veces el error admisible, nuevamente indicativo de cambio de constante. Los incrementos determinados tienen una dispersión inferior a 0.002 mGal respecto del valor medio (Tabla I-5 y Fig. I-7), siendo aceptables todas las uniones.

El cierre (suma de incrementos entre las tres bases) es de 0.002 mGal considerando todos los valores y de 0.0 mGal eliminando los obtenidos con el valor de C2.

#### I-4.3 Coeficiente de calibración

En la Tabla I-7 se muestra el resultado de calcular el coeficiente de calibración a partir de cada empalme mediante  $k = \text{Incremento IGN} / \text{incremento medido}$ , considerando los valores medios totales y los valores medios sin la base C2.

		H-C	H-L	L-C	k medio
media	todas	59,563	97,170	37,609	
media	sin C2	59,563	97,170	37,606	
IGN		59,610	97,270	37,660	
k calibra.	sin C2	1,00079	1,00103	1,00143	1,00108051
	todas	1,00079	1,00103	1,00135	1,00105687

Tabla I-7 Factores de calibración obtenidos mediante valores interpolados según cada unión.

El valor medio de los coeficientes obtenidos con los incrementos de menor error metrológico (sin valores en C2) es de 1,00108051, lo que supone una variación de 0.108 % de la constante de calibración, y por lo tanto debe tenerse en cuenta, según se explicó en el capítulo 5.3 **Factor de calibración del gravímetro: variable Gcal1**. Si se desestiman todas las lecturas en la base de Cerezo, la unión Honrubia-Lozoyuela daría un coeficiente de 1.00103, variación del 0.103 % respecto del actual coeficiente.

## I-5 CALIBRACIÓN CORRIENDO CON LA DERIVA TOTAL DE HONRUBIA. Método (2)

En este tipo de proceso todas las lecturas se van reducir al instante inicial de la lectura H1 en la base de Honrubia, adoptando para ello la deriva total (H1-H3), de 6,33147E-05 mGal/min. Este cálculo equivale al efectuado en un programa normal de mediciones, considerando las lecturas H1 y H3 de apertura y cierre respectivamente. De esta forma, se pretende tener un único valor en cada base, referido al mismo tiempo inicial, por lo que las diferencias entre bases son únicas (no se obtiene un valor para cada tiempo interpolado). El resultado del cálculo se indica en la Tabla I-8 y Figura I-8.

ESTACION	LECTURA	G corre derH1-H3	g-media	t minutos	Valor reducido
H1	4172,027	4172,027	0,000	0	H1
H2	4172,038	4172,028	-0,001	164,8	H1r
H3	4172,047	4172,027	0,000	322,2	H2r
Media H		4172,027		340	HMr media
C1	4112,457	4112,454	0,009	45	C1r
C2	4112,483	4112,475	-0,012	125	C2r
C3	4112,477	4112,464	-0,001	203,4	C3r
C4	4112,477	4112,459	0,004	282,2	C4r
Media C		4112,463		340	CMr media
L1	4074,864	4074,859	-0,002	85,8	L1r
L2	4074,871	4074,856	0,002	243,4	L2r
Media L		4074,857		340	LMr media

Tabla I-8 Cálculo de la gravedad en cada lectura en base por corrección con la deriva total de Honrubia H1-H3.

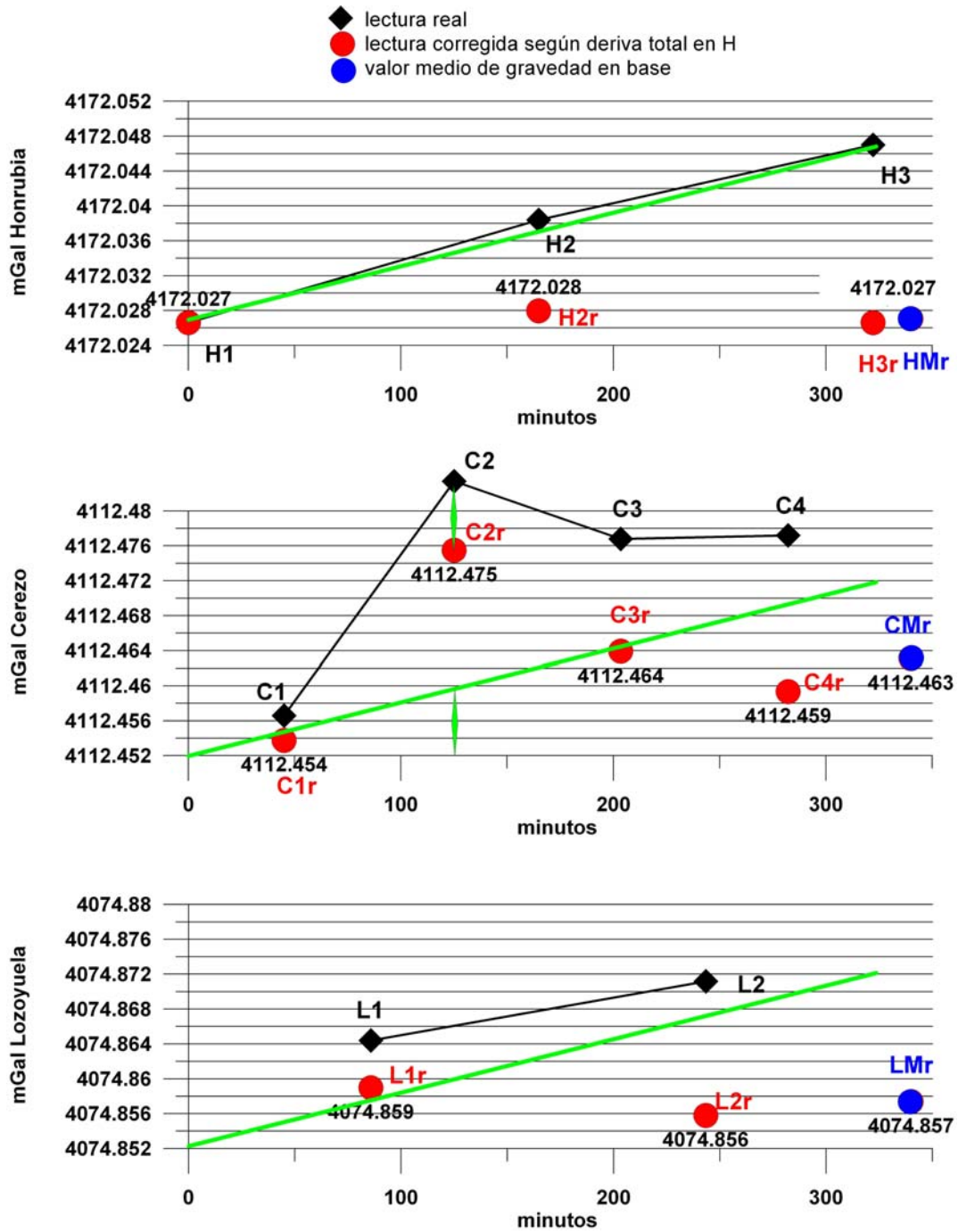
El promedio de las lecturas en Honrubia representa bien su valor, con desviaciones inferiores a 0.001mGal. Para Lozoyuela puede aceptarse también que el valor medio representa adecuadamente a dicha estación, con desviaciones inferiores de 0.002 mGal. Sin embargo, los valores reducidos de la base de Cerezo tienen peor agrupación, con desviaciones de 0.001 a 0.012 mGal, sobre todo en la segunda lectura (C2r); descartando este valor, la media pasa a ser de 4112.459 mGal, valor utilizado para calcular las diferencias de gravedad entre bases, recogidos en la Tabla I-9, lo que da lugar a los coeficientes de calibración indicados.

### Calibración con corrección de Deriva en Honrubia

media HC	59,568		
media HL		97,170	
media CL			37,602
dif IGN HC	59,61		
dif IGN HL		97,27	
dif IGN CL			37,66
dif IGN-SCX	0,046	0,100	0,054
<b>k calibra.</b>	<b>1,00070418</b>	<b>1,00103245</b>	<b>1,0015525</b>

Tabla I-9 Cálculo de los factores de calibración con deriva única

Si se desestima la base de Cerezo, la unión Honrubia-Lozoyuela daría un coeficiente de 1.00103, variación del 0.103 %.



Lecturas en bases corregidas de deriva con valor total de Honrubia

Fig. I-8 Lecturas corregidas de deriva H1-H3 respecto del tiempo origen H1. La línea de deriva (en verde) se ha trasladado a las bases C y L. Como ejemplo, se indica en la lectura C2 el valor de la corrección de deriva correspondiente.

## I-6 RESUMEN Y NUEVA CONSTANTE DE CALIBRACIÓN

La Tabla I-10 resume el resultado del proceso de calibración por ambos métodos.

	H-C	H-L	L-C	media k de método
IGN	59,610	97,270	37,660	
método 1	59,563	97,170	37,606	
método 2	59,568	97,170	37,602	
k1	1,00079	1,00103	1,00143	1,00108
k2	1,00070	1,00103	1,00155	1,00110
k media del enlace	1,00074	1,00103	1,00149	1,00109

**Tabla I-10 Resultado de la calibración según los dos sistemas de cálculo seguido. Valores de uniones depurados de las desviaciones en base C.**

El coeficiente obtenido entre las bases de Honrubia y Lozoyuela H-L es el mismo en los dos métodos de calibración, con valor 1.00103. Si se aceptara como coeficiente el valor medio obtenido para todos los enlaces en cada método, para el primero se obtiene 1.00108 y para el segundo 1.00110, con media de 1.00109. En su conjunto, el rango de los coeficientes calculados está entre 1.0007 y 1.00155. Según se explicó en el capítulo **5.3 Factor de calibración del gravímetro: variable Gcal1**, la determinación de este coeficiente lleva aparejada una incertidumbre de al menos el 0.02%, por lo que el valor 1.00103 podría ser 1.00083 o 1.00123. Los valores calculados con el enlace L-C están ligeramente fuera de este rango. En estas condiciones, el valor más adecuado para adoptar es el de 1.00103, estando también la media total de 1.00109 dentro del rango de incertidumbre aceptable.

En la Tabla I-11 se han calculado cuáles serían las diferencias de gravedad entre bases utilizando el coeficiente  $k=1.00103$  para los valores medidos en los enlaces según ambos métodos de cálculo (M1 y M2). Evidentemente, para el enlace H-L se obtiene un valor idéntico al dado por el IGN, siendo las diferencias para los demás enlaces de  $\pm 0.014$  mGal en los valores C1 y  $\pm 0.019$  mGal en los valores C2. Teniendo en cuenta que los valores de gravedad absoluta del IGN tienen una imprecisión de  $\pm 0.01$  mGal, puede considerarse como aceptable el valor de la calibración.

enlace	IGN	M1	M1 x 1,00103	Dif. con IGN
H-C	59,61	59,563	59,624	0,014
H-L	97,27	97,170	97,270	0,000
L-C	37,66	37,606	37,645	-0,015
		M2	M2 x 1,00103	
H-C	59,61	59,568	59,629	0,019
H-L	97,27	97,170	97,270	0,000
L-C	37,66	37,602	37,641	-0,019

**Tabla I-11 Recalculo de la diferencia de gravedad entre bases utilizando el coeficiente de calibración 1.00103**

Si se utilizara el valor medio  $k=1.00109$ , los valores serían, según se especifica en la Tabla I-12: para el método C1 las diferencias con el IGN son del orden de  $\pm 0.018$  mGal, y para C2 de  $\pm 0.023$  mGal, por lo que superan las diferencias anteriores. Dados estos resultados, y puesto que las lecturas en la base de Cerezo resultan las menos fiables, se ratifica que el coeficiente 1.00103 es el más aceptable.



enlace	IGN	M1	M1 x 1,00109	Dif. con IGN
H-C	59,61	59,563	59,628	0,018
H-L	97,27	97,17	97,276	0,006
L-C	37,66	37,606	37,647	-0,013
		M2	M2 x 1,00109	
H-C	59,61	59,568	59,633	0,023
H-L	97,27	97,17	97,276	0,006
L-C	37,66	37,602	37,643	-0,017

**Tabla I-12 Recalculo de la diferencia de gravedad entre bases utilizando el coeficiente de calibración 1.00109**

Este nuevo coeficiente supone un aumento en los valores medidos en 0.103 %. Es decir, que los valores medidos actualmente (con la constante de calibración 8928.586) son el 99.897 % de los reales, lo que supone aproximadamente un error de 1 microGal/mGal. En la campaña de la Sierra de las Nieves, con diferencias de cota de 500 m, cabe esperar diferencias entre base y estación del orden de hasta 100 mGal (500 m x 0.2248 mGal/m), por lo que se produciría un error de 0.100 mGal, absolutamente irrelevante en estudios de cartografía gravimétrica. Por otra parte, lo fundamental en la gravimetría 4D no es medir diferencias de gravedad entre estaciones, sino detectar la variación de estas diferencias con el tiempo, siendo lo importante que la constante de calibración no se modifique entre campañas efectuadas en diferentes momentos.

Actualmente (junio 2011) el factor de calibración utilizado es  $CGal1 = 8928.586$ , que pasa a ser **8937.782** ( $8928.586 \times 1.00103$ ), con una variación del 0.10 %.

## I-7 VERIFICACIÓN DE LA NUEVA CONSTANTE

El 29 de julio de 2011 se ha introducido en el gravímetro el valor de la nueva constante  $G_{cal1n}=8937.782$ . Para verificar su repercusión se ha medido en la planta baja del edificio del IGME en Tres Cantos (“abajo”) y en la planta alta (“arriba”), primero con la constante anterior ( $G_{cal1}=8928.586$ ), y luego con la nueva, obteniéndose los siguientes resultados (Tabla I-13, fichero cambio **constante.txt**, pasado a Excel **cambio constante.xls|hoja1**):

LINE	STATION	GRAV	DUR	REJ	TIME	DECTIME	DATE
<b>Gcal1</b>	abajo	4098,353	90	0	07:03:36	40722,2937	2011/07/29
	abajo	4098,352	90	0	07:05:16	40722,29485	2011/07/29
	abajo	4098,353	90	0	07:06:52	40722,29596	2011/07/29
	abajo	4098,353	90	2	07:08:28	40722,29707	2011/07/29
	abajo	4098,352	90	1	07:10:05	40722,29819	2011/07/29
	media	<b>4098,353</b>				<b>40722,296</b>	
<b>Gcal1</b>	arriba	4094,902	90	0	07:17:58	40722,30366	2011/07/29
	arriba	4094,903	90	4	07:19:38	40722,30481	2011/07/29
	arriba	4094,902	90	0	07:21:14	40722,30592	2011/07/29
	arriba	4094,902	90	1	07:22:50	40722,30703	2011/07/29
	arriba	4094,902	90	0	07:24:27	40722,30815	2011/07/29
	media	<b>4094,902</b>				<b>40722,306</b>	
<b>Gcal1n</b>	abajo	4102,575	90	3	07:32:00	40722,31339	2011/07/29
	abajo	4102,576	90	0	07:35:29	40722,3158	2011/07/29
	abajo	4102,576	90	3	07:37:09	40722,31696	2011/07/29
	abajo	4102,574	90	2	07:38:45	40722,31807	2011/07/29
	abajo	4102,575	90	0	07:40:21	40722,31918	2011/07/29
	abajo	4102,575	90	2	07:41:58	40722,3203	2011/07/29
	media	<b>4102,575</b>				<b>40722,317</b>	
<b>Gcal1n</b>	arriba	4099,119	90	0	07:47:26	40722,32409	2011/07/29
	arriba	4099,118	90	0	07:50:21	40722,32611	2011/07/29
	arriba	4099,118	90	0	07:52:01	40722,32726	2011/07/29
	arriba	4099,117	90	2	07:53:37	40722,32837	2011/07/29
	arriba	4099,118	90	0	07:55:13	40722,32948	2011/07/29
	arriba	4099,117	90	0	07:56:50	40722,3306	2011/07/29
	media	<b>4099,118</b>				<b>40722,328</b>	

Tabla I-13 Comprobación de la nueva constante de calibración. (Fichero constante.xls|hoja1)

La diferencia de gravedad entre ambas estaciones utilizando los valores medidos con la constante de calibración  $G_{cal1}$  es de 3.450 mGal, y con  $G_{cal1n}$  pasa a 3.457, habiendo por lo tanto una diferencia de 0.007 mGal. La simulación de pasar los valores medidos con  $G_{cal1}$  a  $G_{cal1n}$  puede hacerse multiplicando los valores leídos con  $G_{cal1}$  por el factor  $k=1.00103$ , cuyo cálculo se encuentra en la Tabla I-14.

	Con $G_{cal1}$	con $G_{cal1} \times 1.00103$	Con $G_{cal1n}$	diferencia
abajo	4098,3526	<b>4102,574</b>	<b>4102,575</b>	0,001
arriba	4094,9022	<b>4099,120</b>	<b>4099,118</b>	-0,002

incremento	3,450	3,454	3,457	0.003
------------	-------	-------	-------	-------

Tabla I-14 Verificación del cambio de constante de calibración.

La diferencia de gravedad entre plantas obtenida por este procedimiento sería de 3.454 en vez de 3.457, lo que es debido a que no es lo mismo multiplicar los valores por un número que hacer una nueva medición, donde intervienen otros factores. La diferencia entre las lecturas realmente efectuadas y las teóricas es del orden de  $\pm 0.002$  mGal, dentro de la precisión instrumental y metrológica, lo que confirma la correcta aplicación de la nueva constante.

## **ANEXO II**

### **POSICIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MEDICIÓN GRAVIMÉTRICA**

[Página dejada intencionadamente en blanco]

## **POSICIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MEDICIÓN GRAVIMÉTRICA**

**II-1 Coordenadas y situación geológica de las estaciones**

**II- 2 Leyenda con el código identificador de la geología**

**II-3 Observaciones sobre la situación de las estaciones**

**II-4 Situación de itinerarios**

**II-5 Fotos y mapas de detalle de las estaciones, ordenadas por itinerarios**

El acceso a determinados itinerarios del Parque Natural Sierra de las Nieves está restringido para vehículos. Se precisa contactar con los Guardas Forestales y disponer del correspondiente permiso de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía para tener acceso a las llaves de las diversas cancelas.

Responsable del Parque: Juan José Jiménez, Telf. 951040166

Coordinador de Guardas: Rafael Gamarro, Telf. 671562658

[Página dejada intencionadamente en blanco]

## II-1 Coordenadas y situación geológica de las estaciones

X,Y ED50 UTM H30 Z m.s.n.m.

Geología: código leyenda según la cartografía digital continua del IGME

Estación	X	Y	Z	geología	litología	Piso
1	310737,33	4060650,03	1007,61	119	brecha	Mioceno
2	311625,22	4060118,90	1057,68	103	dolomías	Juras. Inf Trías. Sup.
3	313391,49	4058199,30	1108,16	108	calizas, margocalizas	Jurasico Inf.
4	313147,71	4057120,30	1124,38	108	calizas, margocalizas	Jurasico Inf.
5	312977,91	4056500,80	1080,18	103	dolomías	Juras. Inf Trías. Sup.
6	312634,16	4056313,56	998,48	103	dolomías	Juras. Inf Trías. Sup.
7	313286,14	4057684,49	1122,93	108	calizas, margocalizas	Jurasico Inf.
8	313018,96	4058555,31	1102,14	119	brecha	Mioceno
9	312743,20	4059584,35	1057,40	119	brecha	Mioceno
10	313053,10	4059768,08	1046,48	119	brecha	Mioceno
11	313758,18	4059849,53	1059,43	119	brecha	Mioceno
12	314368,98	4060339,64	1067,52	119	brecha	Mioceno
13	314371,06	4059902,91	1050,11	119	brecha	Mioceno
14	314616,64	4058910,70	1070,79	119	brecha	Mioceno
15	314892,60	4058269,89	1086,88	108	calizas, margocalizas	Jurasico Inf.
16	315376,27	4057868,85	1104,09	103	dolomías	Juras. Inf Trías. Sup.
17	315668,86	4057704,02	1114,67	221/103	aluvial	
18	316215,73	4057266,51	1155,40	24	serpentinitas	
19	314554,94	4059371,76	1060,65	119	brecha	Mioceno
20	315244,62	4059811,31	1085,22	119	brecha	Mioceno
21	315788,95	4059912,87	1104,95	119	brecha	Mioceno
22	316280,70	4059991,54	1111,29	119	brecha	Mioceno
23	317672,48	4059750,85	1187,04	108	calizas, margocalizas	Jurasico Inf.
24	317161,67	4059798,37	1148,04	108	calizas, margocalizas	Jurasico Inf.
25	316196,53	4060616,16	1164,53	105	caliza margosa	Triásico Sup.
26	316670,63	4061026,06	1266,80	103	dolomías	Juras. Inf Trías. Sup.
27	316862,18	4061572,01	1313,84	103	dolomías	Juras. Inf Trías. Sup.
28	317182,66	4062198,74	1335,73	103	dolomías	Juras. Inf Trías. Sup.
29	317837,03	4062139,98	1401,36	103	dolomías	Juras. Inf Trías. Sup.
30	318401,04	4062467,27	1577,34	105	caliza margosa	triasico Sup.
31	319423,05	4062488,57	1749,38	103	dolomías	Juras. Inf Trías. Sup.
32	310777,42	4061646,50	999,21	103	dolomías	Juras. Inf Trías. Sup.
33	319881,62	4062729,17	1741,07	108	calizas, margocalizas	Jurasico Inf.
34	320237,61	4063034,79	1724,07	108	calizas, margocalizas	Jurasico Inf.
35	320766,92	4062899,99	1745,96	105	caliza margosa	Triásico Sup.
36	320972,32	4062537,42	1750,27	105	caliza margosa	Triásico Sup.
37	321331,94	4061975,01	1710,14	108	calizas, margocalizas	Jurasico Inf.
38	321564,07	4061640,78	1686,15	108	calizas, margocalizas	Jurasico Inf.
B1	309914,06	4064235,29	945,09	41	calizas margosas, margas	Triásico Med.
B2	310070,68	4065717,77	872,35	41	calizas margosas, margas	Triasico Med.
B3	308895,06	4066015,63	781,49	41	calizas margosas, margas	Triasico Med.

**II-2 Leyenda con el código identificador de la geología, según las hojas 1/50.000 nº 1065 (Marbella) y 1051 (Ronda) del Mapa Geológico Continuo de España. IGME.**

CRET-PAL	EOCENO	CENOMANIENSE		79	Calizas margosas rosadas (capas rojas), verdes y blancas.
	CRETACICO SUPERIOR				
CRETACIC	CRETACICO SUPERIOR	CONIACIENSE		76	Calizas grises con sílex
	CRETACICO SUPERIOR	TURONIENSE			
JURACRE	CRETACICO INFERIOR	BERRIASIENSE		67	Calizas oolíticas, nodulosas y masivas (F. Torcal)
	JURASICO MEDIO	CALLOVIENSE			
JURASICO	JURASICO MEDIO	CALLOVIENSE		50	Calizas grises y blancas
	JURASICO INFERIOR	HETTANGIENSE			
JURASICO	JURASICO INFERIOR	SINEMURIENSE		49	Dolomías
	JURASICO INFERIOR	HETTANGIENSE			
TRIASICO	TRIASICO SUPERIOR	NORIENSE		44	Areniscas, arcillas y yesos
	TRIASICO SUPERIOR	CARNIENSE			
TRIASICO	TRIASICO MEDIO	LADINIENSE		41	Calizas margosas y margas
TRIASICO	TRIASICO MEDIO	ANISIENSE		40	Areniscas y arcillas
NEOGENO	MIOCENO INFERIOR	BURDIGALIENSE		34	Calcarenita (Bloques)
NEOGENO	MIOCENO INFERIOR	BURDIGALIENSE		27	Arcillas con Tubotomaculum (arcillas con bloques)
NEOGENO	MIOCENO INFERIOR	BURDIGALIENSE		25	Arcillas marrones y areniscas cuarzo-micáceas
PALEOGENO	MIOCENO INFERIOR	BURDIGALIENSE		22	Margas y areniscas micáceas de Algeciras
PALEOGENO	OLIGOCENO SUPERIOR				
PALEOGENO	EOCENO SUPERIOR			15	Calizas bioclásticas y arcillas rojas
	EOCENO INFERIOR				
PALEOGENO	OLIGOCENO SUPERIOR			7	Arcillas rojas y areniscas micáceas
PALEOGENO	EOCENO INFERIOR				
NEOGENO	MIOCENO INFERIOR	BURDIGALIENSE		119	"Brecha de la Nava". Brecha poligénica cementada por carbonato. Cantos calizos, dolomíticos o metapelíticos equivalentes a algunas formaciones alpujárrides
JURASICO	JURASICO INFERIOR	SINEMURIENSE		109	Calizas con sílex metamorizadas
	JURASICO INFERIOR	HETTANGIENSE			
JURASICO	JURASICO INFERIOR	SINEMURIENSE		108	Calizas, margocalizas y calizas con sílex con niveles localmente nodulosos y brechosos
	JURASICO INFERIOR	HETTANGIENSE			
TRIASICO	TRIASICO SUPERIOR	RHAETIENSE		106	Mármoles calizos y dolomíticos con intercalaciones calcosilíceas
TRIASICO	TRIASICO SUPERIOR	RHAETIENSE		105	Alternancia calizo-margosa
TRIA-JUR	JURASICO INFERIOR	HETTANGIENSE		104	Mármoles dolomíticos
	TRIASICO SUPERIOR				
TRIA-JUR	JURASICO INFERIOR	HETTANGIENSE		103	Dolomías grises masivas o estratificadas con algún nivel margoso y arcilloso
TRIA-JUR	TRIASICO SUPERIOR				

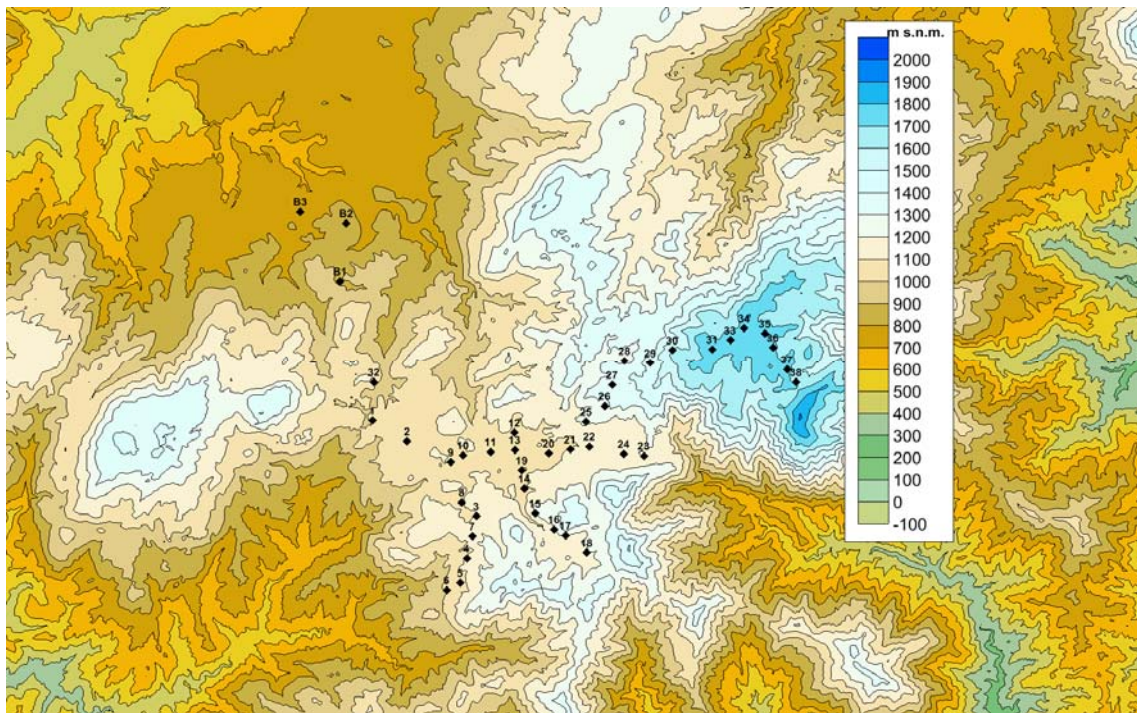
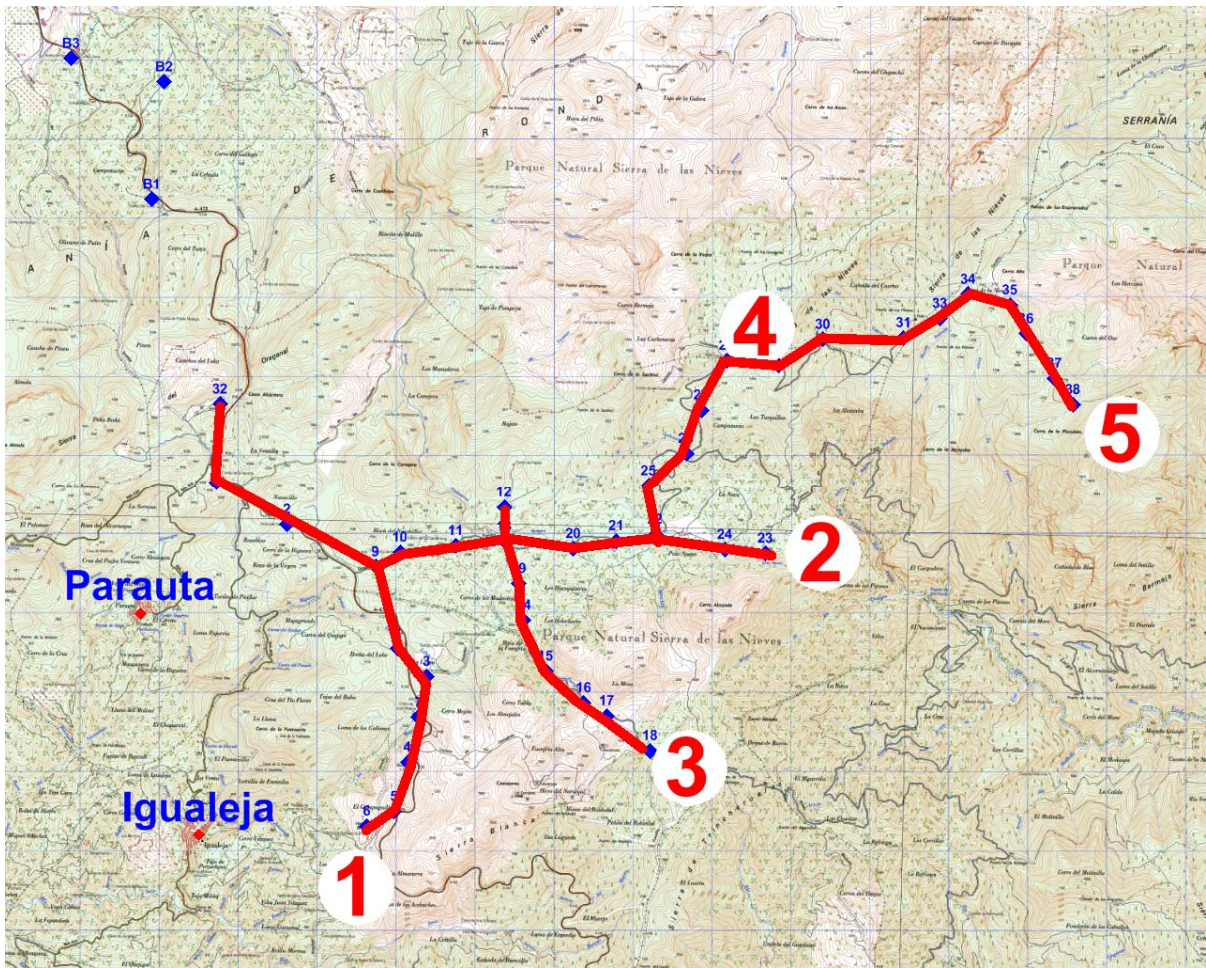


### II-3 Observaciones sobre la situación de las estaciones

Base1	en camino que sube hacia la antena, pasada la valla de alambre
Base2	camino
Base3	casas "La Caucha"
1	en gasolinera, junto deposito de arriba
2	en venta Navasilla, lado derecho
3	en camino señalizado "Cruces de Mayo"
4	parte trasera edificio monumento J.M. Rike
5	en variante de carretera vieja
6	explanada de fabrica de mármol, en la parte baja
7	en carretera antigua rectificada
8	en camino en mal estado
9	en valla de piedra de entrada área recreativa Conejeras
10	abrevadero entrada camino Camping, junto águila de piedra
11	en borde alcantarilla
12	junto camino
13	sobre mampostería del vado junto cruce caminos a Quejigales y Fuenfría
14	en paso de ganado en suelo (barras)
15	en suelo mampostería puente de cemento
16	en suelo mampostería puente de cemento
17	en camino
18	en vado de cemento, cancela verde, cortijo Fuenfría
19	en vado de cemento
20	a la izquierda del camino sentido Quejigales
21	a la izquierda del camino sentido Quejigales
22	a la derecha del camino sentido Quejigales, junto caseta verde de electricidad
23	fin camino Finca Las Navas, a la izquierda casa derruida, bajo pinsapo AVISAR DUEÑOS Telf. 952114214
24	piedra en suelo en medio del camino finca Las Navas
25	a la izquierda del camino sentido Quejigales
26	en alcantarilla junto barrera verde
27	a la izquierda del camino sentido Quejigales
28	en pilastra cancela de cadenas
29	a la derecha del camino sentido Puerto de los Pilones
30	a la izquierda del camino sentido Puerto de los Pilones
31	en el puerto, a la izquierda
32	entrando en la cantera áridos JM Barbancho, AVISAR Telf. 606985173
33	itinerario Puerto Pilones-Puerto Valientes
34	itinerario Puerto Pilones-Puerto Valientes
35	itinerario Puerto Pilones-Puerto Valientes
36	itinerario Puerto Pilones-Puerto Valientes
37	itinerario Puerto Pilones-Puerto Valientes
38	en puerto de los Valientes



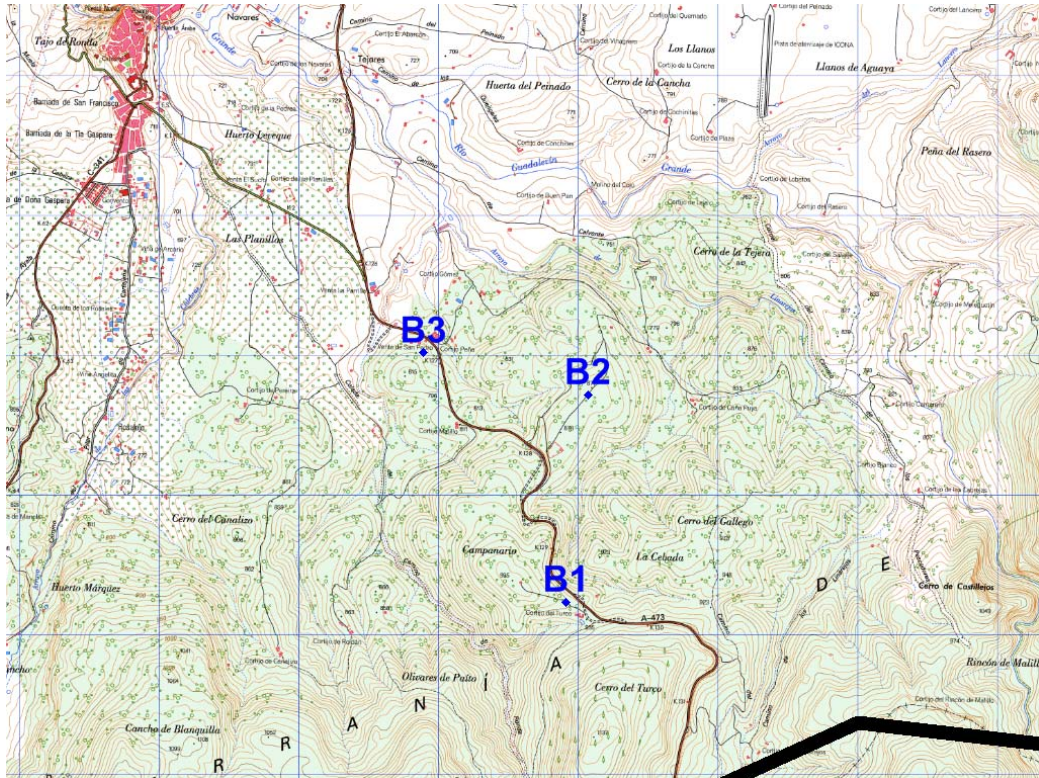
## II-4 Situación de itinerarios



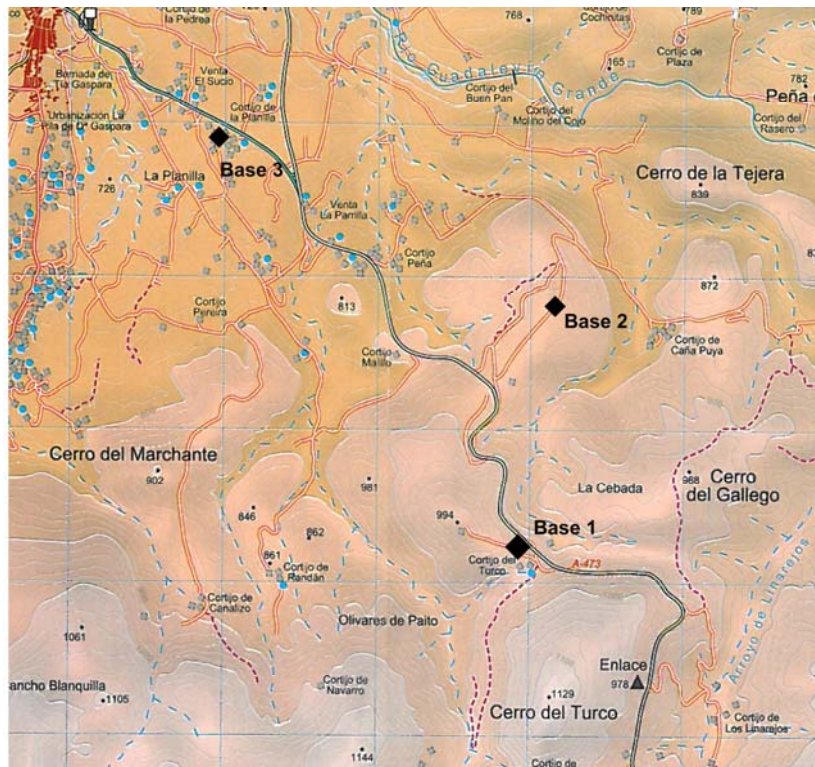


## II-5 Fotos y mapas de detalle de las estaciones, ordenadas por itinerarios

### BASES



Acceso por carretera de Ronda a San Pedro de Alcántara.



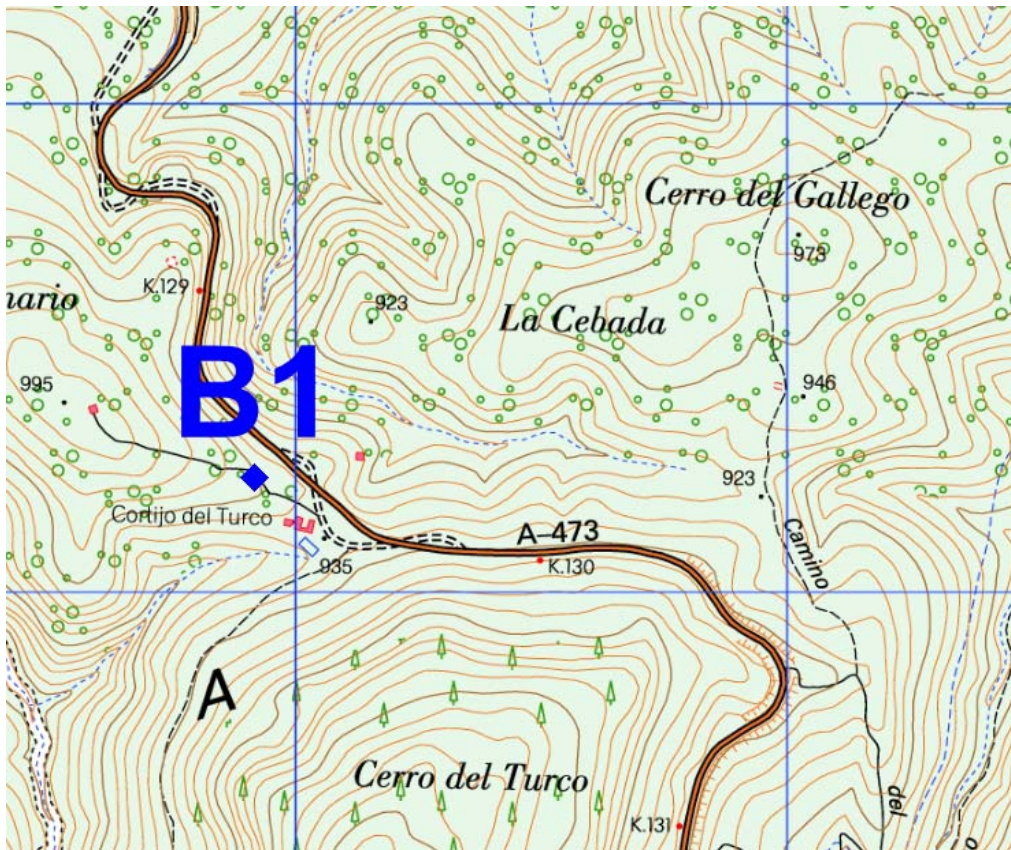
Situación sobre el mapa de Ed. Penibética





B1	X=309914,06	Y=4064235,29	Z=945,09
----	-------------	--------------	----------

**BASE 1:** Aparcamiento de hostel abandonado, en camino que sube hacia la antena, pasada la valla de alambre, a la izquierda

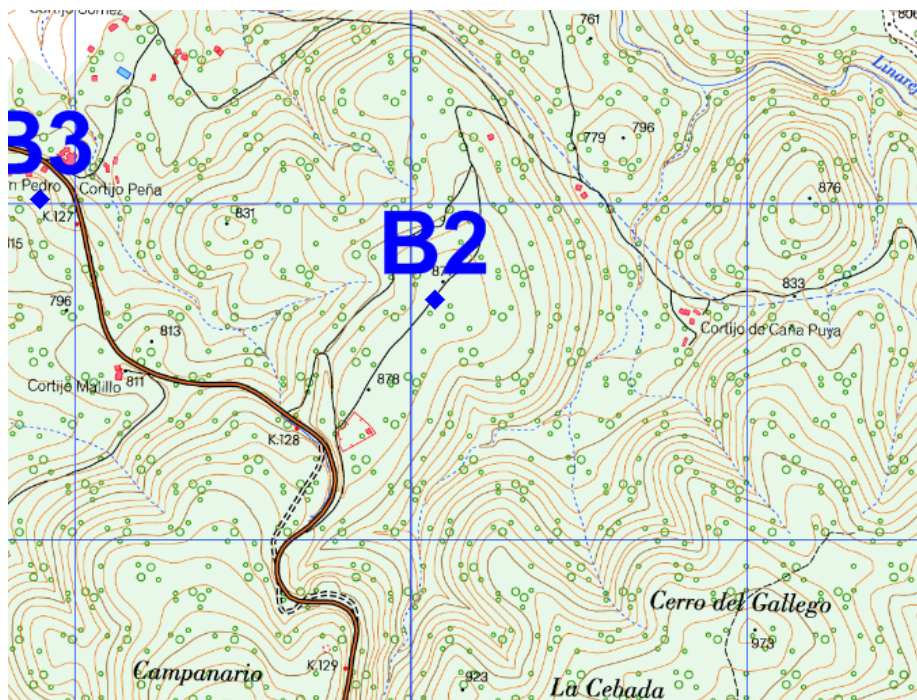






**B2** | X=310070,68 | Y=4065717,77 | Z=872,35

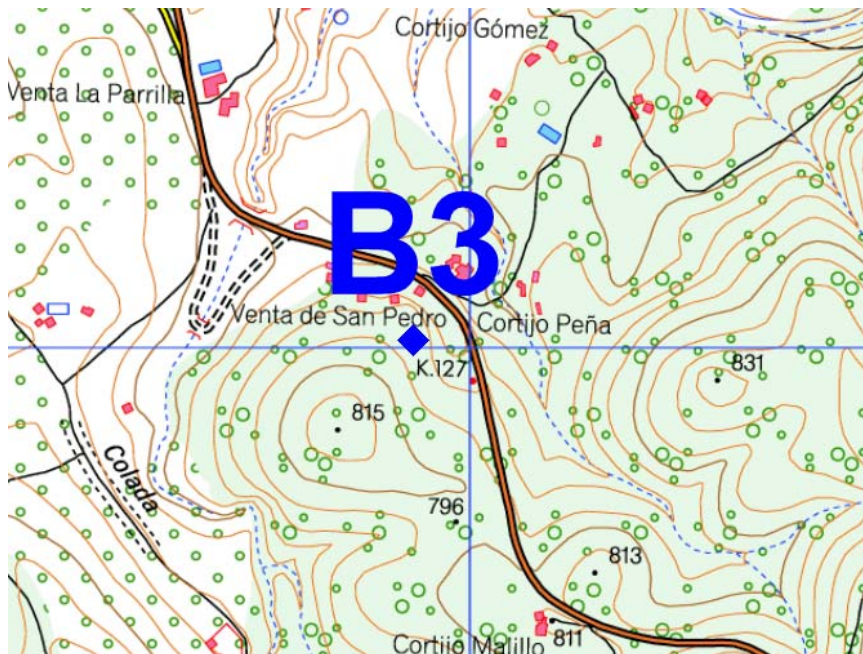
**BASE B2:** En borde del camino, a la derecha según se entra desde la carretera.





**B3** X=308895,06 Y=4066015,63 Z=781,49

**BASE 3** En el suelo, junto a los contadores de las casas "La Caucha"





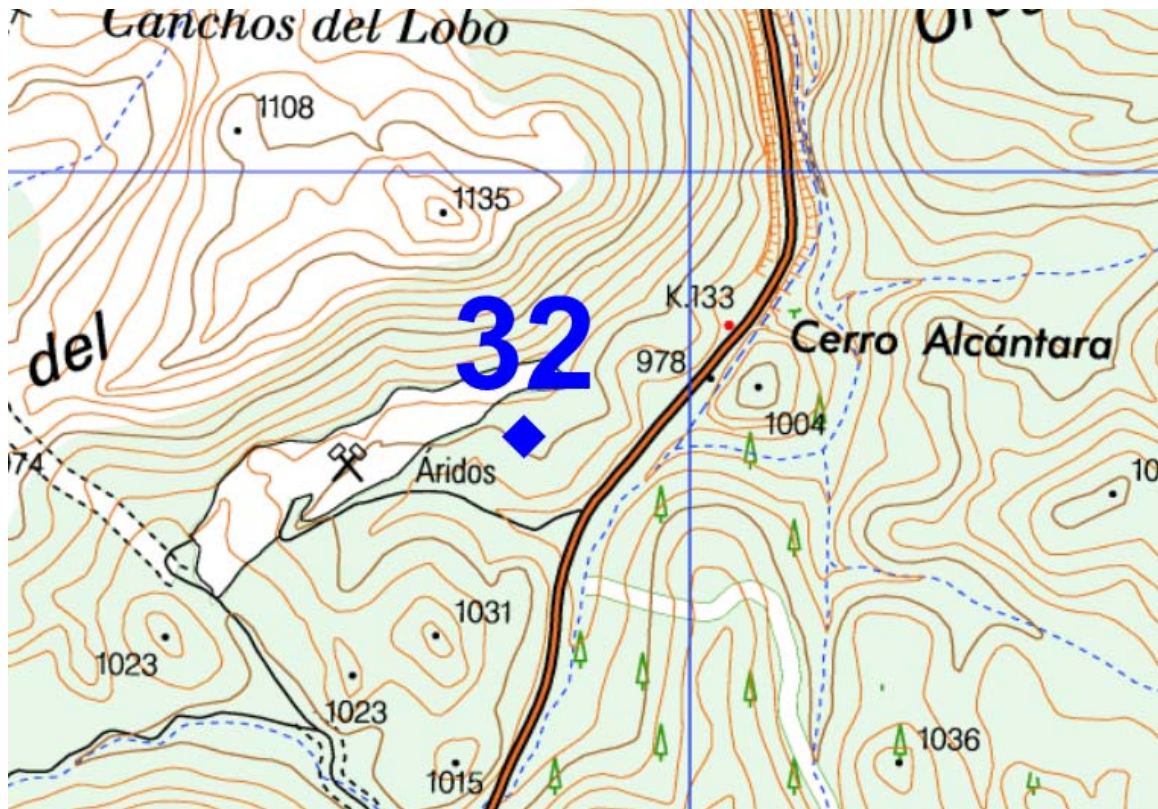






32 | X=310777,42 | Y=4061646,50 | Z=999,21

**ESTACIÓN Nº 32** Entrando en la cantera de áridos JM Barbancho, al fondo en cerro. Difícil acceso y localización.

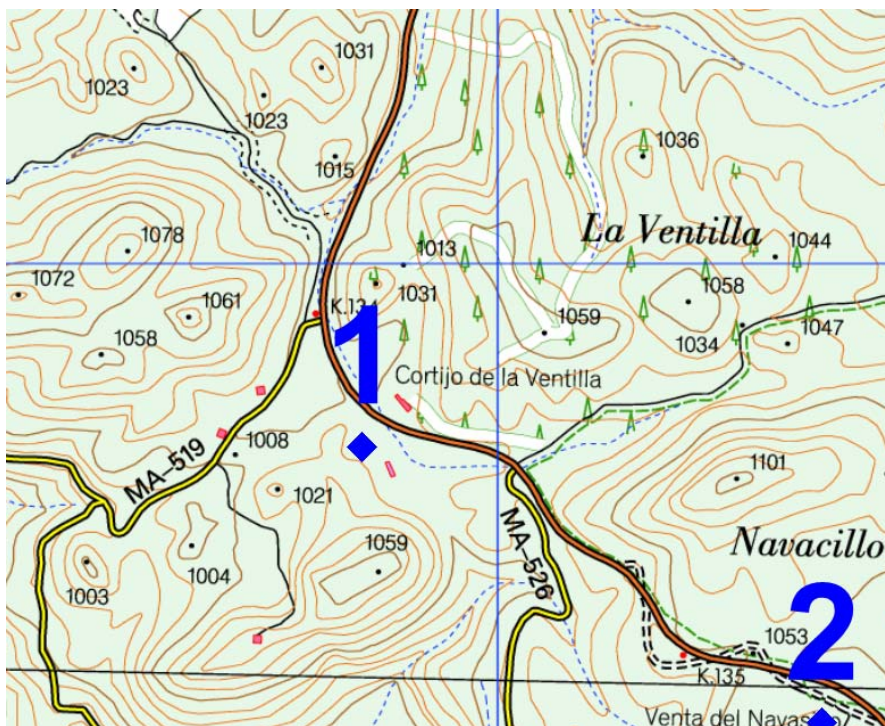






1 | X=310737,33 | Y=4060650,03 | Z=1007,61

ESTACIÓN Nº 1 En gasolinera, junto depósito de arriba





2 X=311625,22 Y=4060118,90 Z=1057,68

ESTACIÓN Nº 2 En venta Navasilla, lado derecho al fondo de la casa







8 | X=313018,96 | Y=4058555,31 | Z=1102,14

**ESTACIÓN Nº 8** En camino en mal estado, a unos 2000 m de la estación 2





3 X=313391,49 Y=4058199,30 Z=1108,16

**ESTACIÓN Nº 3** En camino señalizado "Cruces de Mayo", lado derecho según se entra desde la carretera.







7 | X=313286,14 | Y=4057684,49 | Z=1122,93

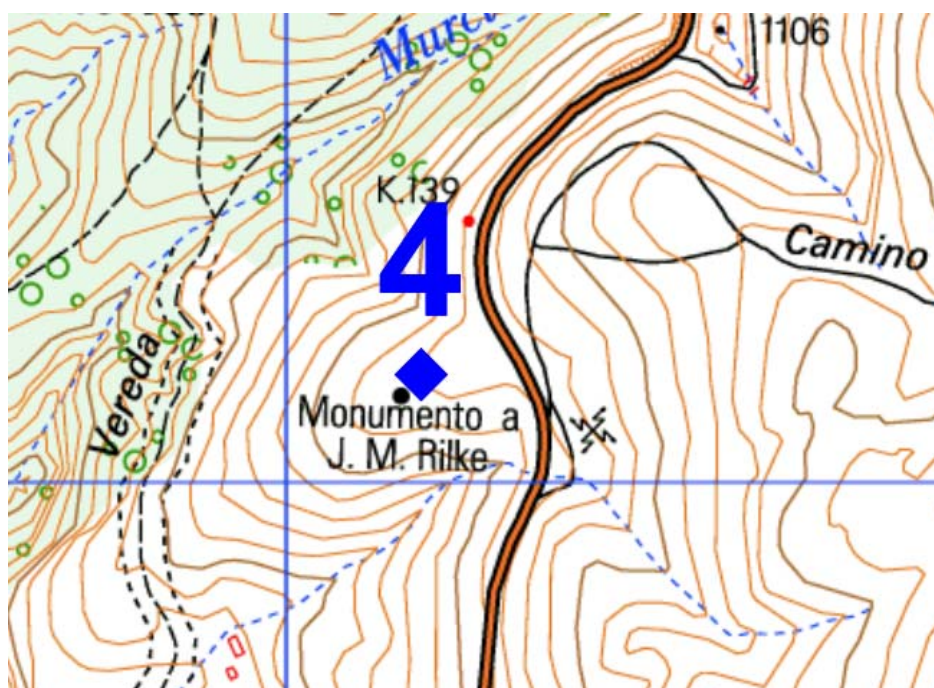
**ESTACIÓN Nº 7** En explanada de carretera antigua rectificada, salida de camino hacia abajo





4 | X=313147,71 | Y=4057120,30 | Z=1124,38

ESTACIÓN Nº 4 Parte trasera edificio abandonado en el monumento J.M. Rike

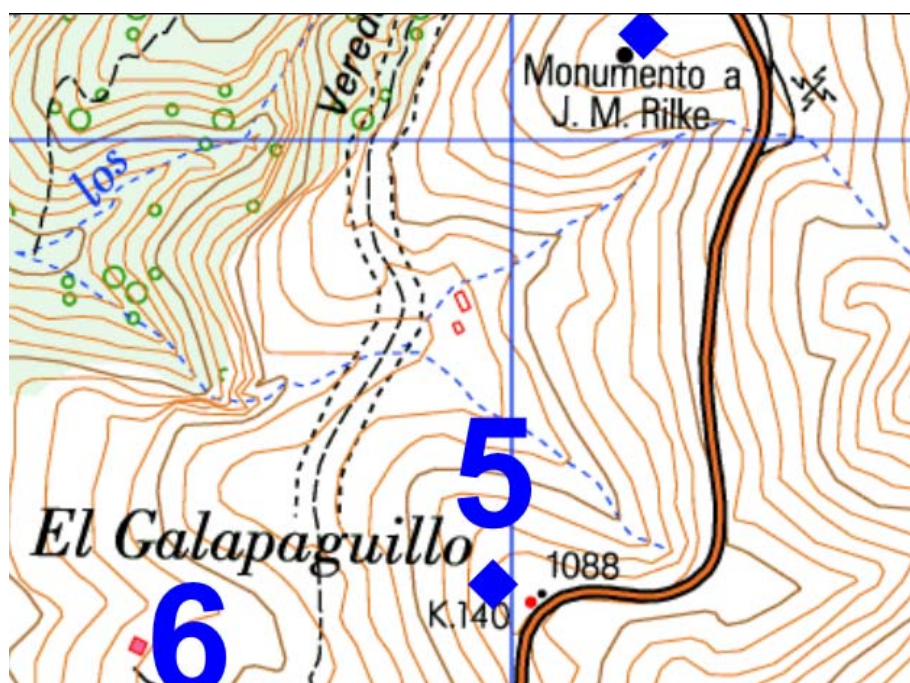






5 | X=312977,91 | Y=4056500,80 | Z=1080,18

ESTACIÓN Nº 5 En variante de carretera vieja







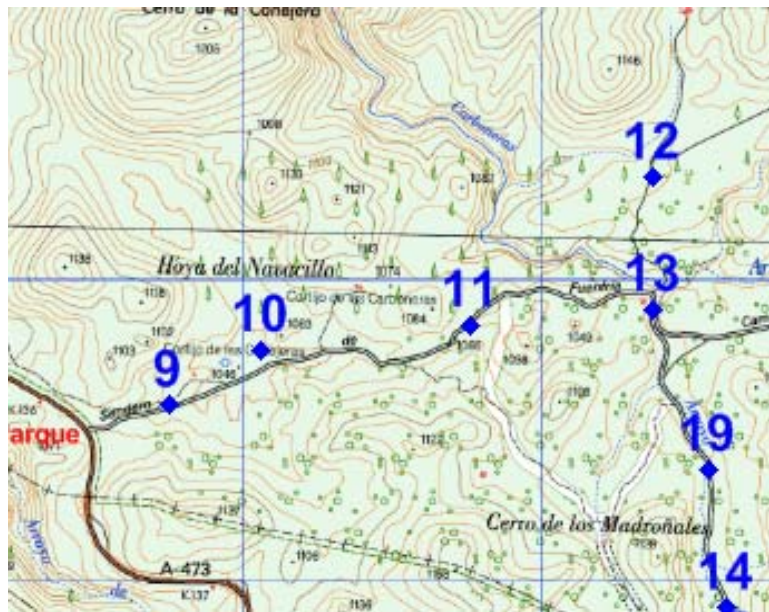
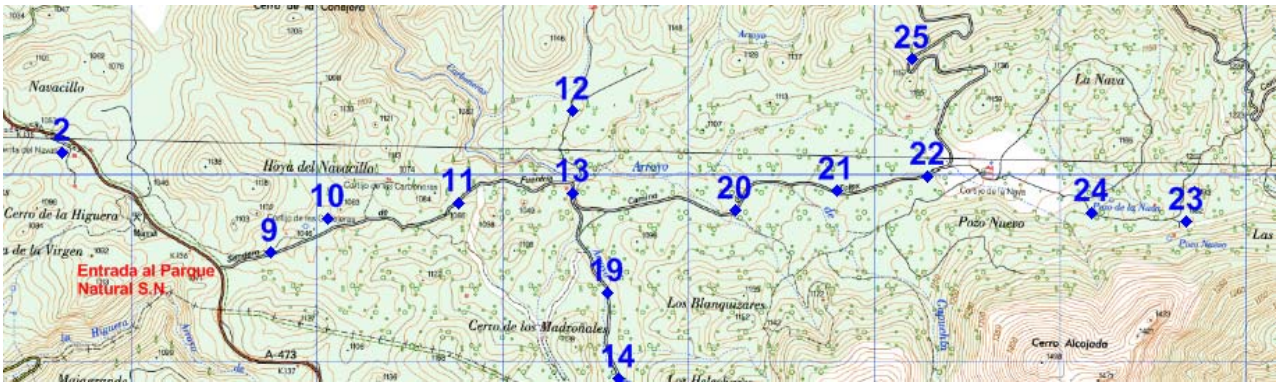
6	X=312634,16	Y=4056313,56	Z=998,48
---	-------------	--------------	----------

**ESTACIÓN Nº 6** Explanada de fábrica de mármol, en la parte baja. Salida de carretera muy forzada, en bajada





## ITINERARIO 2: estaciones 9,10, 11, 13, 20, 21, 22, 24 y 23







9 | X=312743,20 | Y=4059584,35 | Z=1057,40

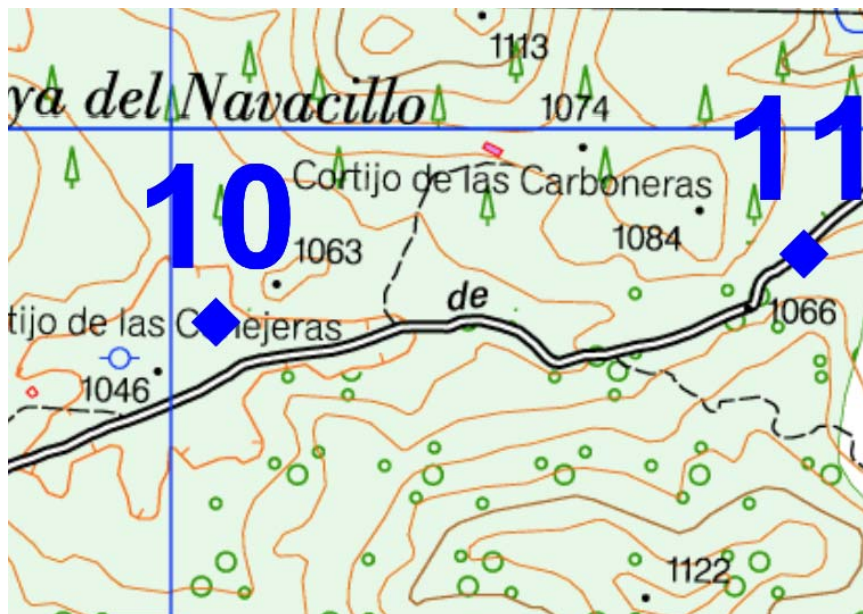
ESTACIÓN Nº 9 En pilar de piedra, valla de entrada al área recreativa Conejeras





10 X=313053,10 Y=4059768,08 Z=1046,48

ESTACIÓN Nº 10 Abrevadero-fuente en entrada camino Camping, junto águila de piedra

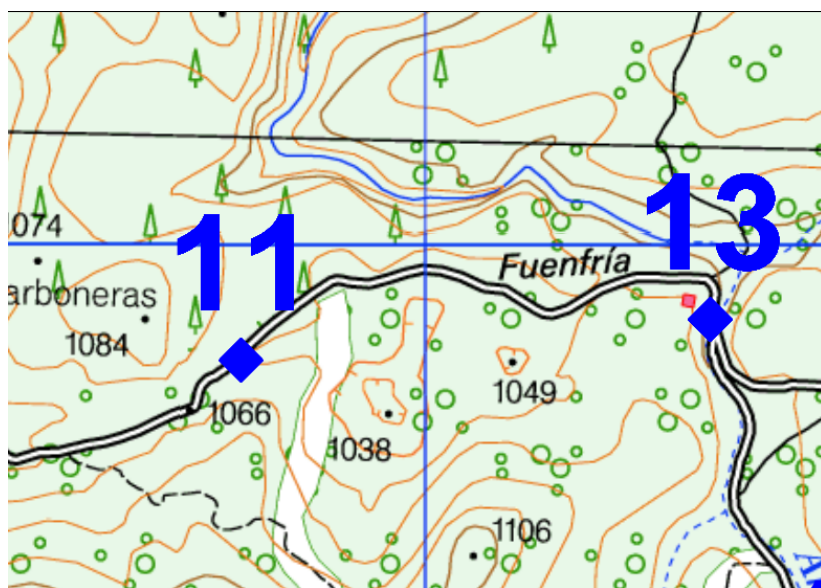






11	X=313758,18	Y=4059849,53	Z=1059,43
----	-------------	--------------	-----------

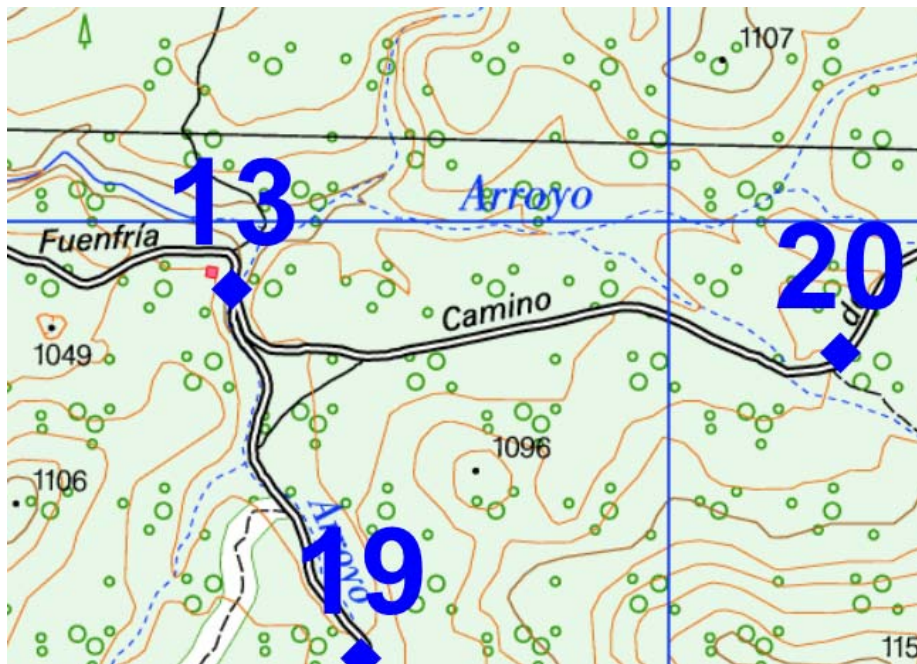
**ESTACIÓN Nº 11** En borde del camino, en la alcantarilla, a unos 700 m de la estación 10





13 X=314371,06 Y=4059902,91 Z=1050,11

ESTACIÓN Nº 13 Sobre mampostería del vado junto cruce caminos a Quejigales y Fuenfría

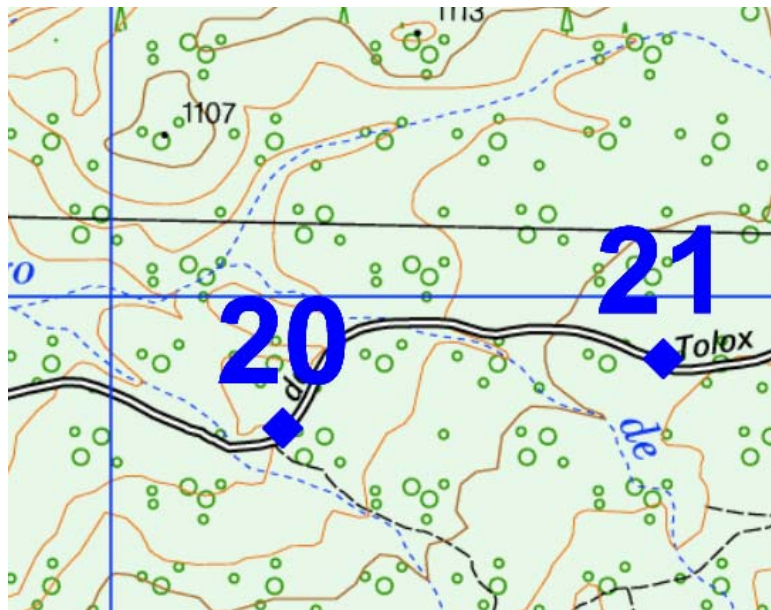






20	X=315244,6	Y=4059811,3	Z=1085,2
----	------------	-------------	----------

**ESTACIÓN Nº 20** A la izquierda del camino sentido Quejigales, a unos 900 m de la estación 13

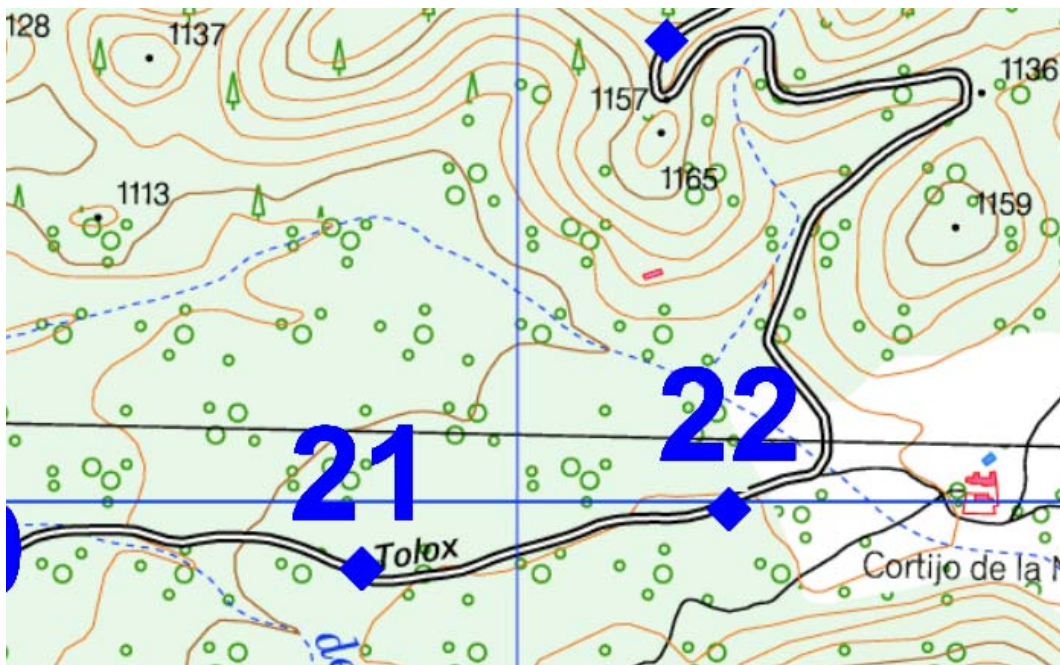






21 | X=315788,95 | Y=4059912,87 | Z=1104,95 |

ESTACIÓN Nº 21 A la izquierda del camino sentido Quejigales, a unos 550 m de la estación 20



**ESTACIÓN Nº 22** A la derecha del camino sentido Quejigales, junto caseta de electricidad pintada de color verde, a unos 500 m de la estación 21; próxima a la verja de entrada al Cortijo de las Navas.

**22** | X=316280,70 | Y=4059991,54 | Z=1111,29

(FALTA FOTO)







24	X=317161,67	Y=4059798,37	Z=1148,04
----	-------------	--------------	-----------

**ESTACIÓN Nº 24** En piedra en suelo en medio del camino finca Las Navas, entre pinsapos, a unos 900 m de la estación 22

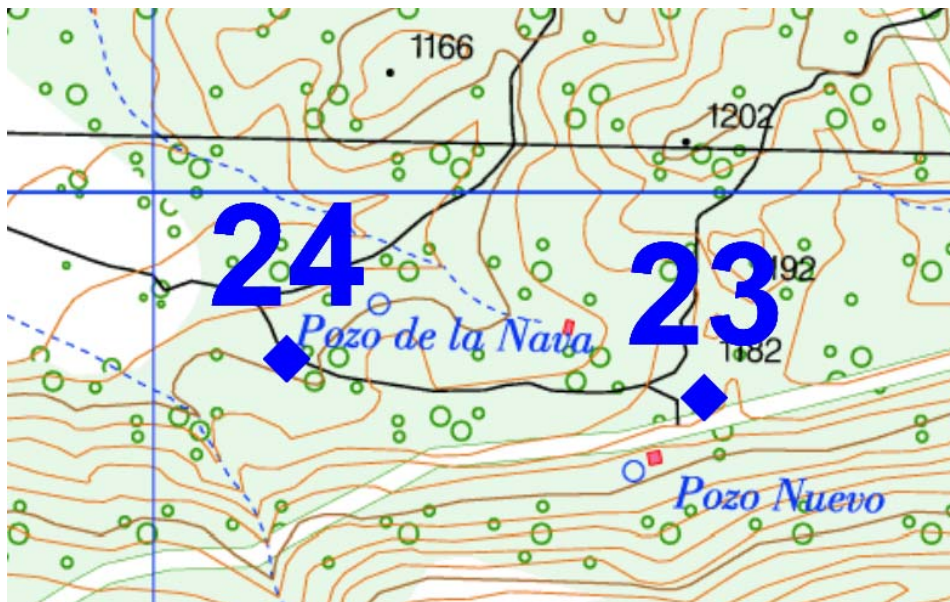






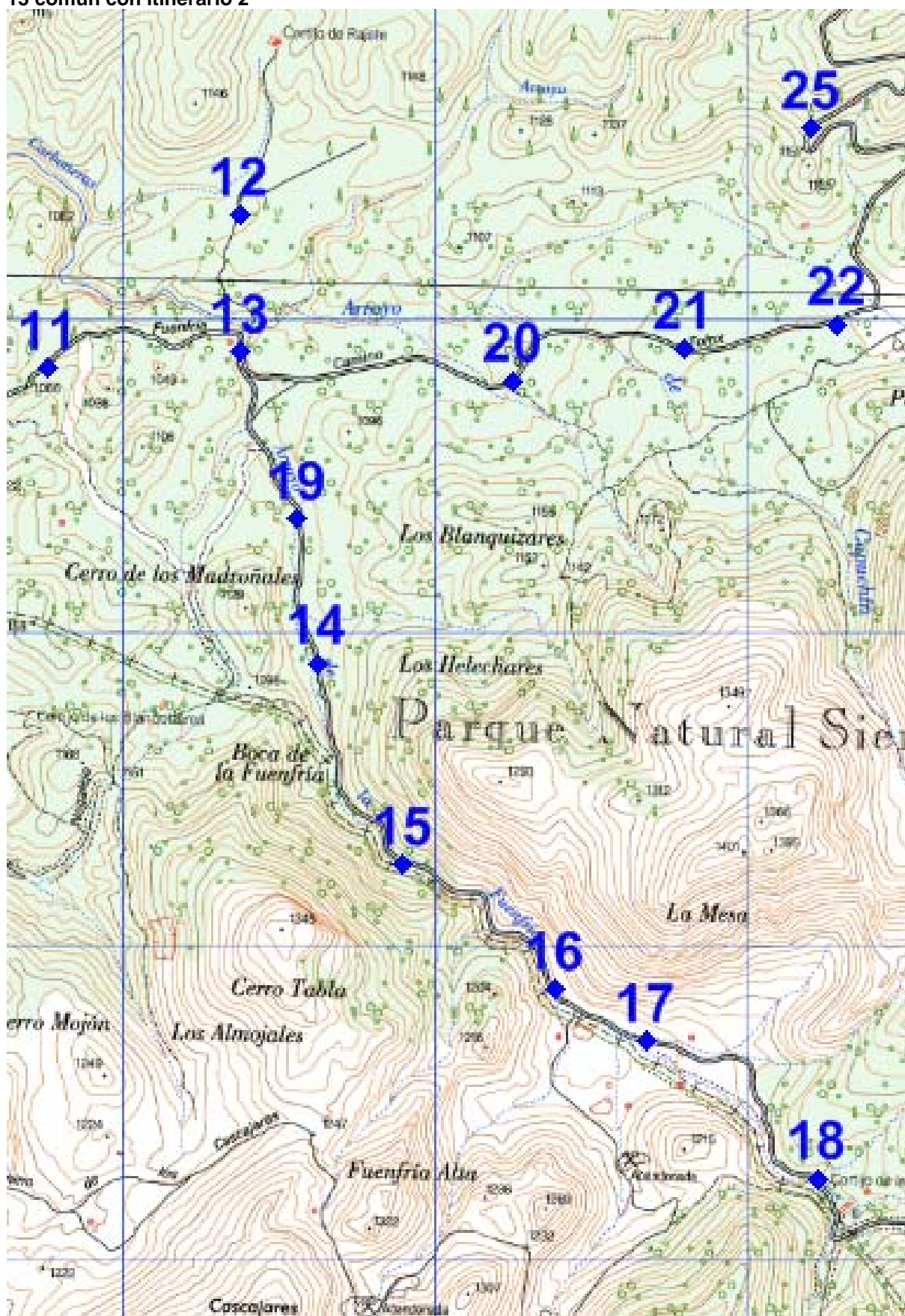
23 X=317672,48 Y=4059750,85 Z=1187,04

**ESTACIÓN Nº 23** Fin camino transitable de la Finca Las Navas, a unos 500 m de la estación 24, a la izquierda de casa derruida, bajo pinsapo



### ITINERARIO 3: estaciones 12, (13), 19,14, 15, 16, 17 y 18

13 común con itinerario 2

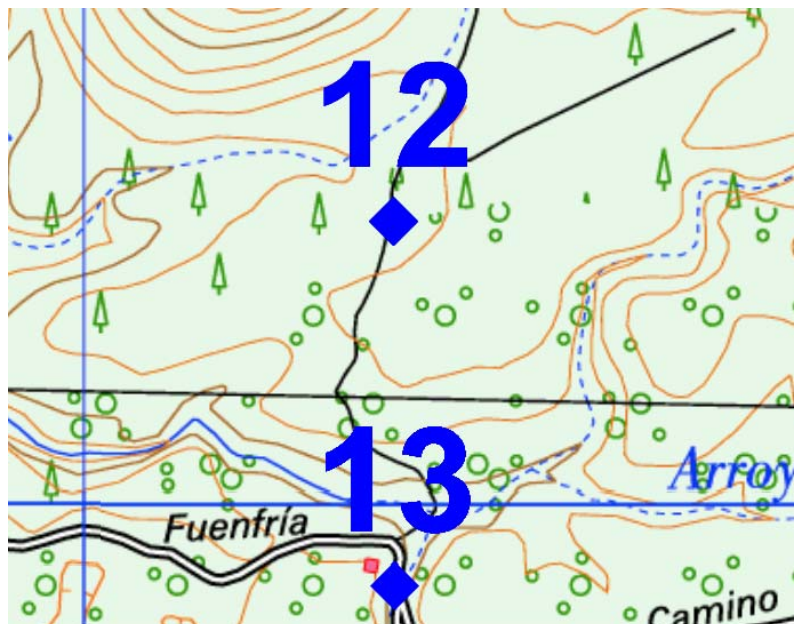






12 | X=314368,98 | Y=4060339,64 | Z=1067,52

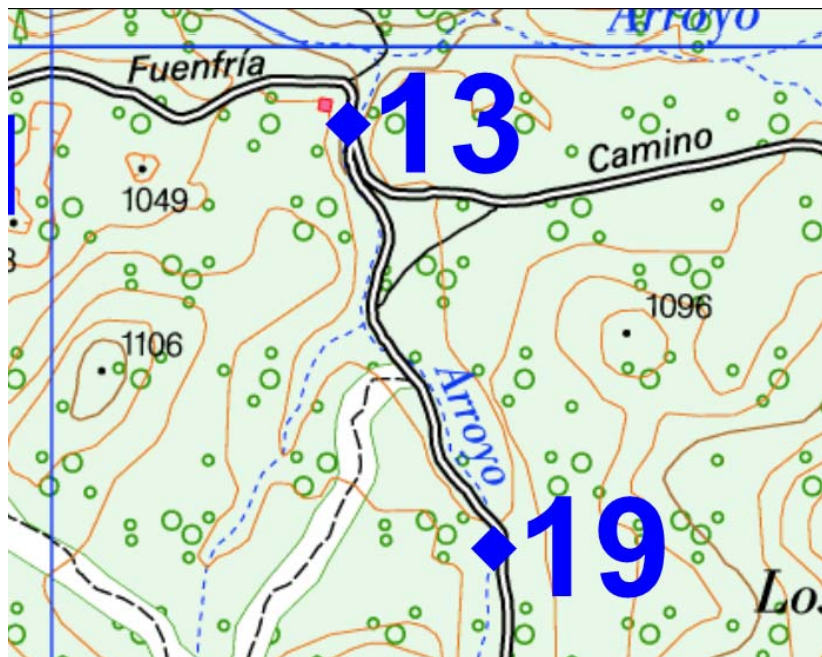
**ESTACIÓN Nº 12** En lado derecho del camino sentido norte, a unos 450 m de la estación 13, antes de llegar a la verja que lo cierra; camino en mal estado.





19 X=314554,94 Y=4059371,76 Z=1060,65

**ESTACIÓN Nº 19** En vado de cemento en el camino, a unos 560 m de la estación 13

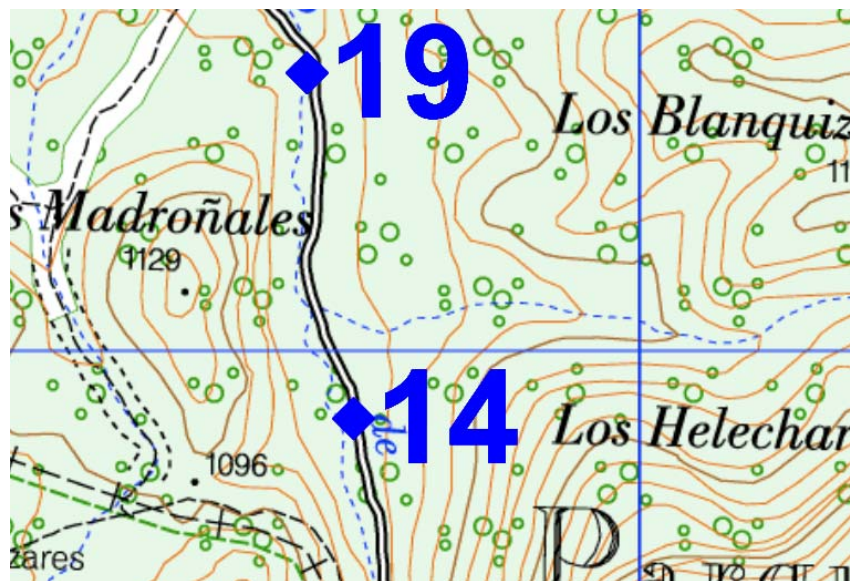






14 X=314616,64 Y=4058910,70 Z=1070,79

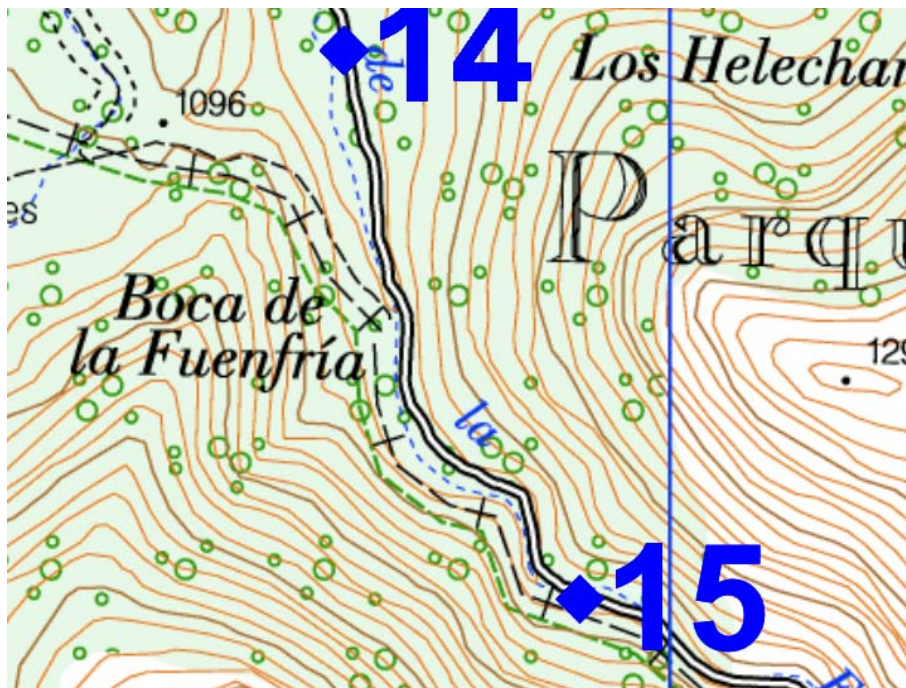
ESTACIÓN Nº 14 A unos 460 m de la estación 19, en paso de ganado en suelo (barras)





15 X=314892,60 Y=4058269,89 Z=1086,88

**ESTACIÓN Nº 15** En camino a unos 700 de la estación 14, en mampostería alcantarilla- puente de cemento

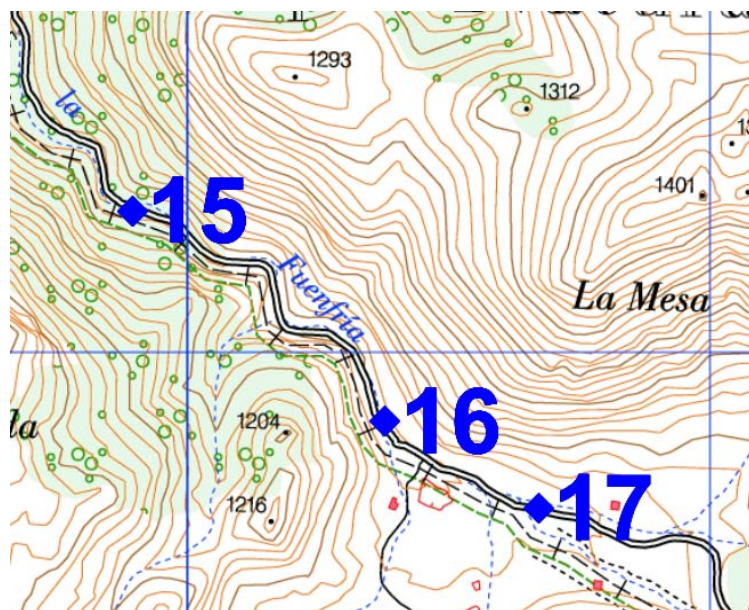






16	X=315376,27	Y=4057868,85	Z=1104,09
----	-------------	--------------	-----------

**ESTACIÓN Nº 16** En camino, a unos 600 m de la estación 15, en mampostería puente-alcantarilla de cemento

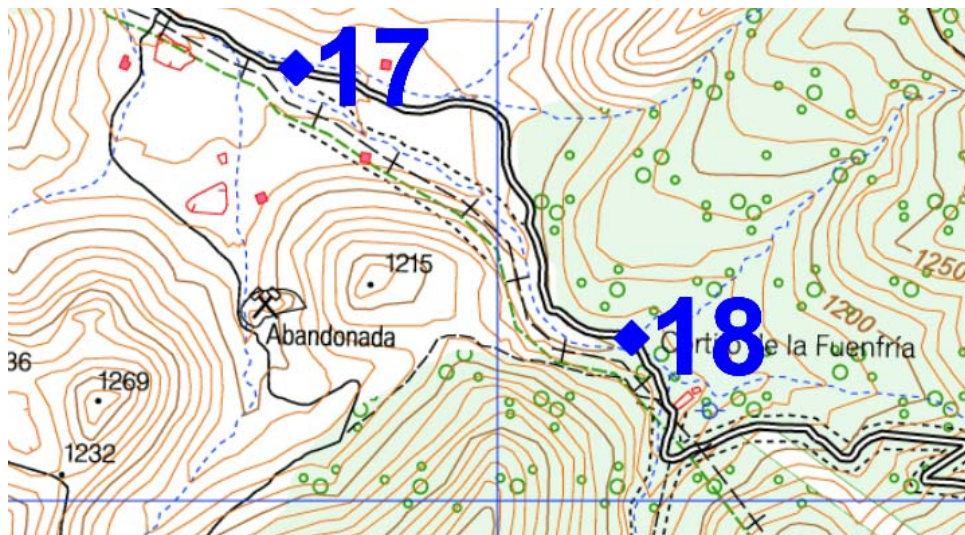






17 X=315668,86 Y=4057704,02 Z=1114,67

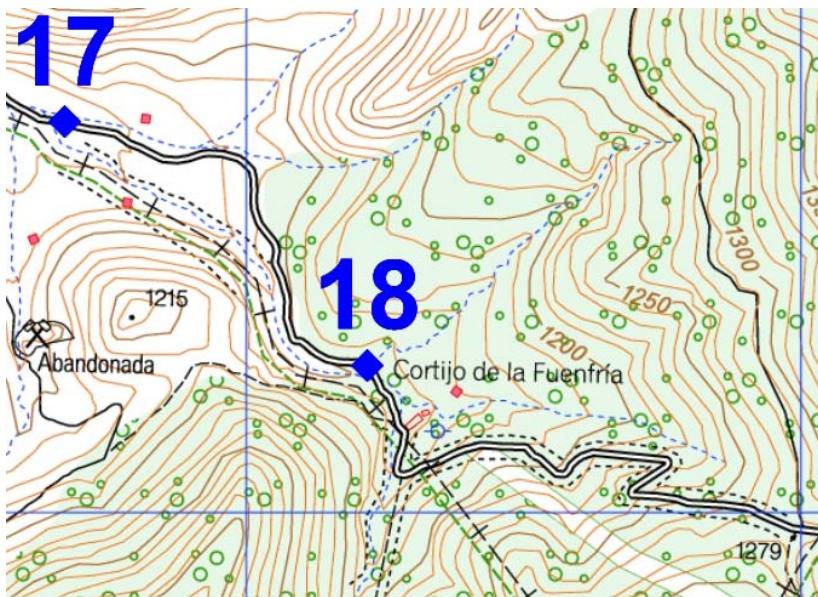
**ESTACIÓN Nº 17** En lado izquierdo del camino yendo hacia el sur, a unos 300 m de la estación 16





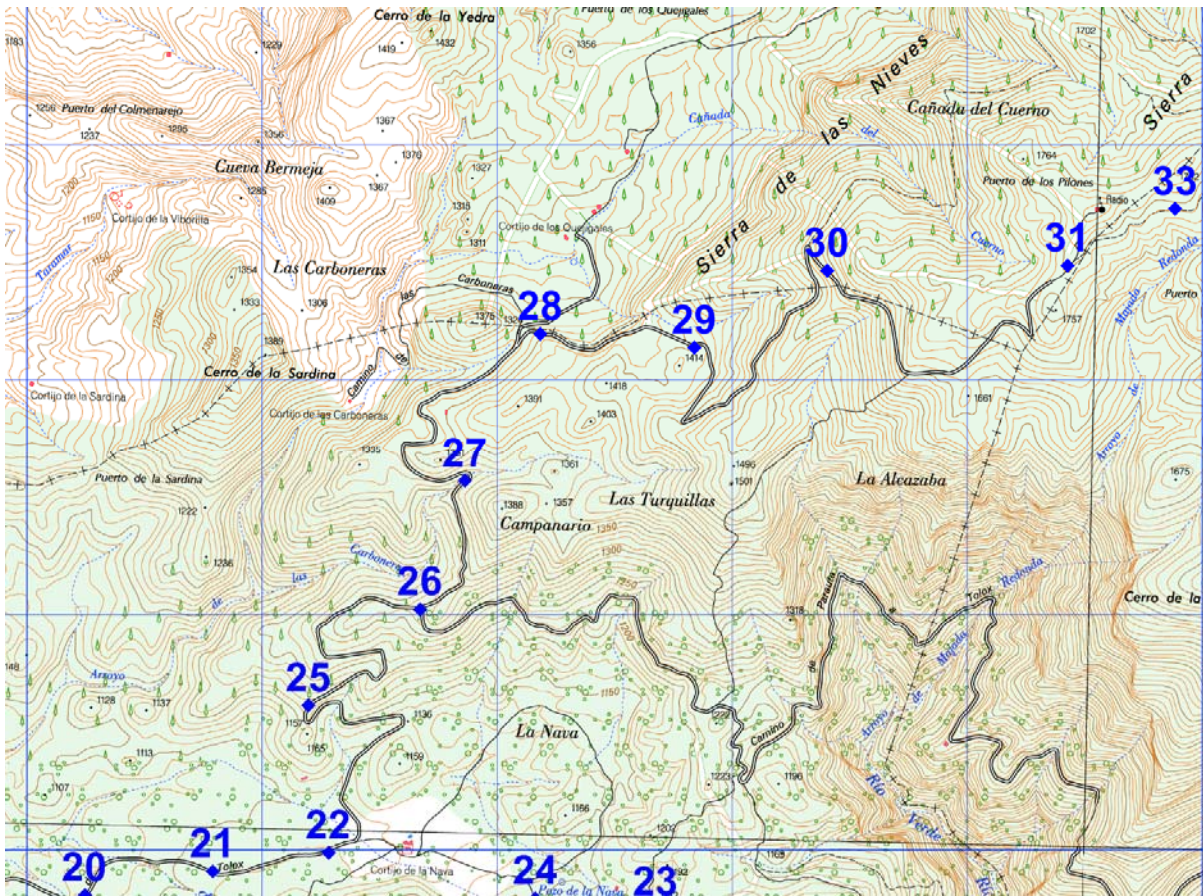
18	X=316215,73	Y=4057266,51	Z=1155,40
----	-------------	--------------	-----------

**ESTACIÓN Nº 18** En vado de cemento, enfrente de cancela verde del cortijo Fuenfría, a unos 700 m de la estación 17





## ITINERARIO 4 estaciones (22), 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31 22 común con itinerario 2

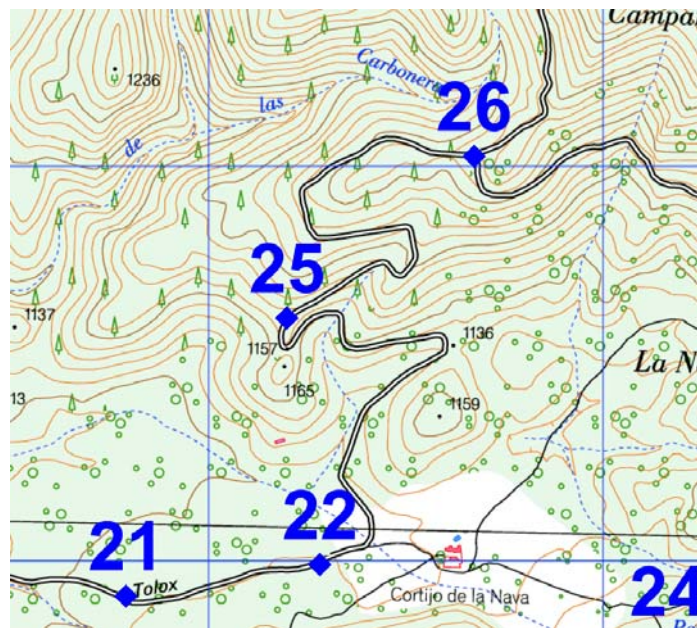






25 X=316196,53 Y=4060616,16 Z=1164,53

ESTACIÓN Nº 25 En el lado izquierdo del camino sentido Quejigales

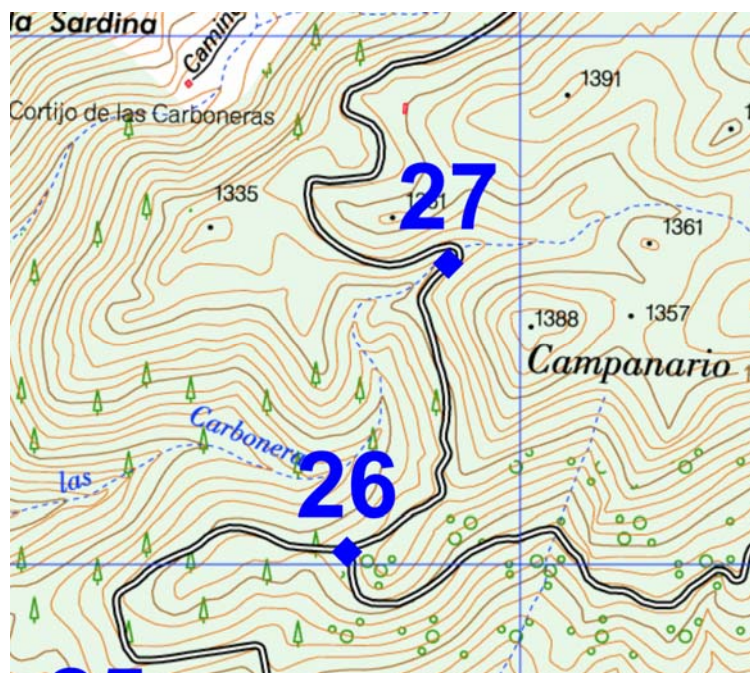






26	X=316670,63	Y=4061026,06	Z=1266,80
----	-------------	--------------	-----------

ESTACIÓN Nº 26 En la bifurcación del camino a Torox, en alcantarilla junto barrera verde

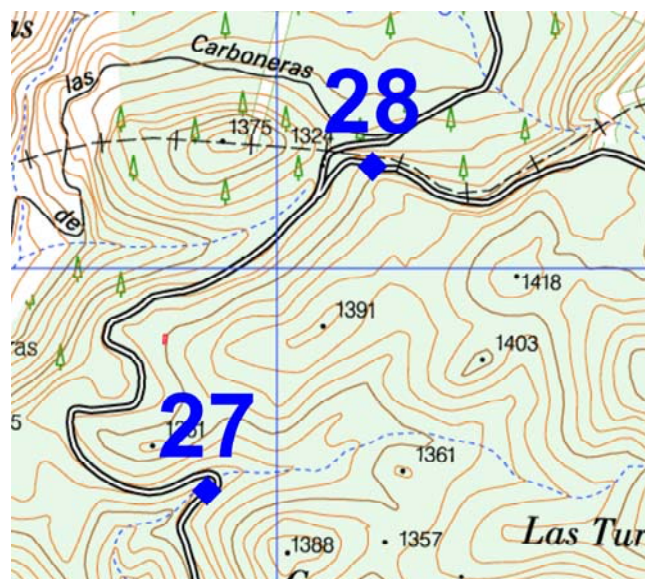






27	X=316862,18	Y=4061572,01	Z=1313,84
----	-------------	--------------	-----------

**ESTACIÓN Nº 27** A la izquierda del camino sentido Quejigales, próximo curva muy cerrada

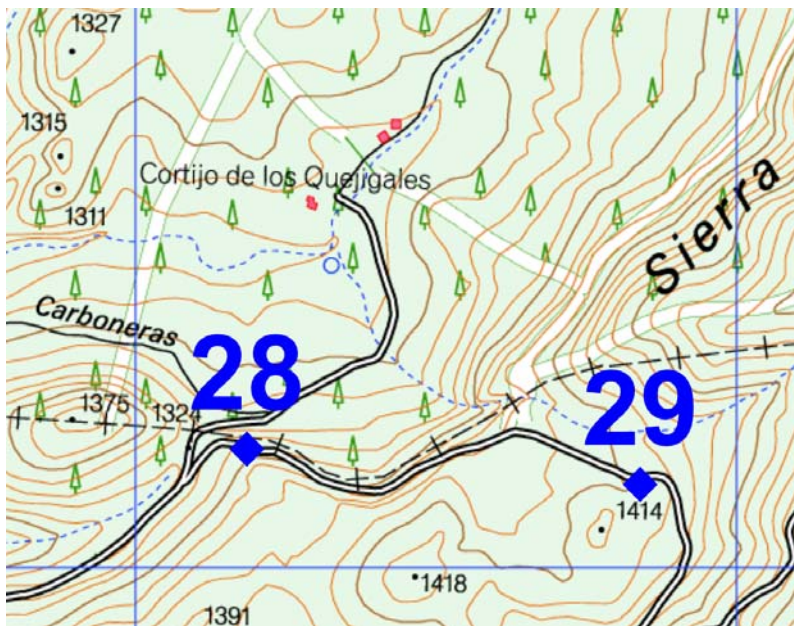






28 | X=317182,66 | Y=4062198,74 | Z=1335,73

**ESTACIÓN Nº 28** En pilastra cancela de cadenas del camino a Puerto de los Pilonos

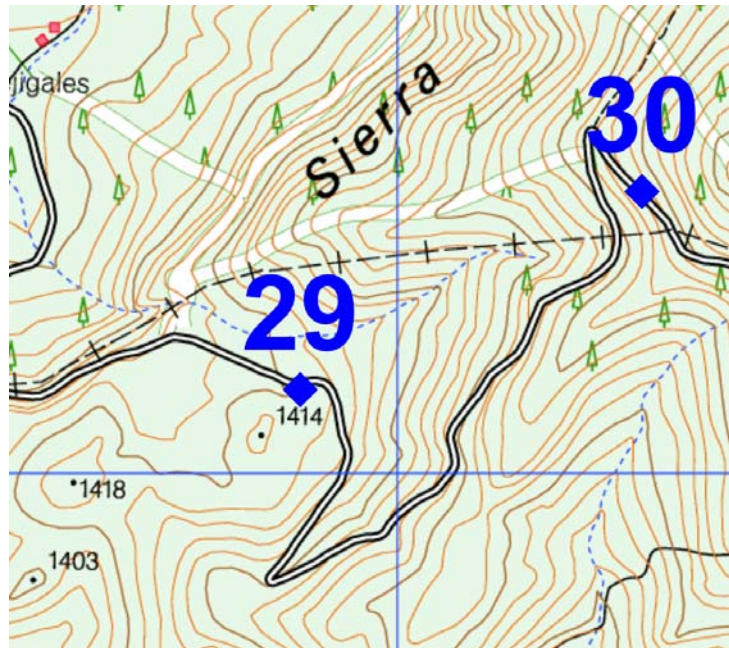






29	X=317837,03	Y=4062139,98	Z=1401,36
----	-------------	--------------	-----------

**ESTACIÓN Nº 29** A la derecha del camino sentido Puerto de los Pilonos

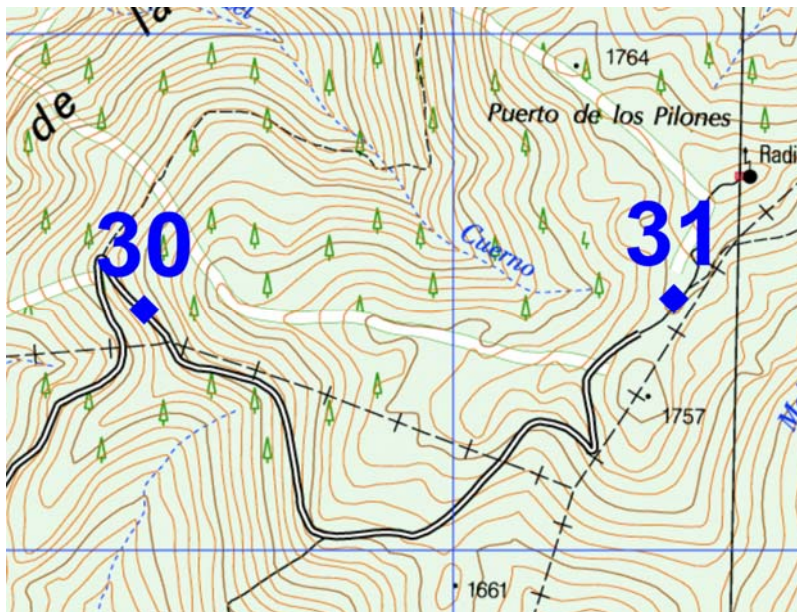






30	X=318401,04	Y=4062467,27	Z=1577,34
----	-------------	--------------	-----------

ESTACIÓN Nº 30 A la izquierda del camino sentido Puerto de los Pilonos

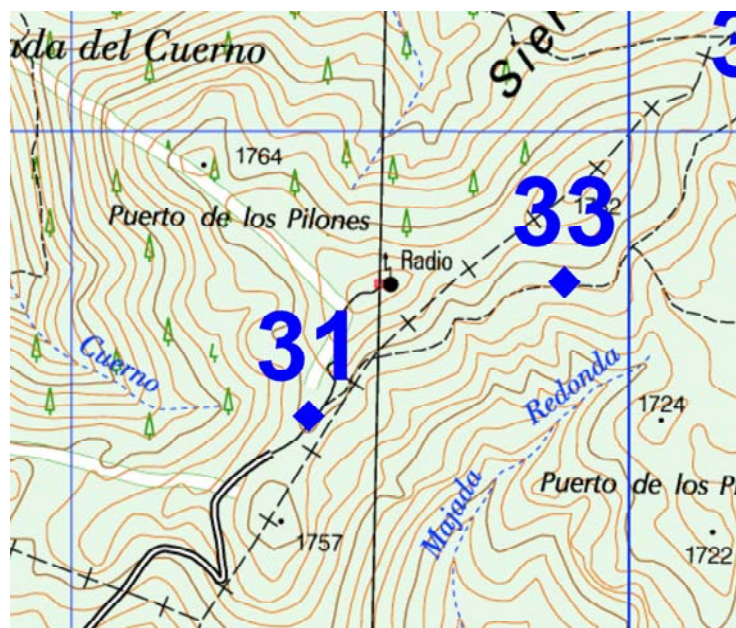






31	X=319423,05	Y=4062488,57	Z=1749,38
----	-------------	--------------	-----------

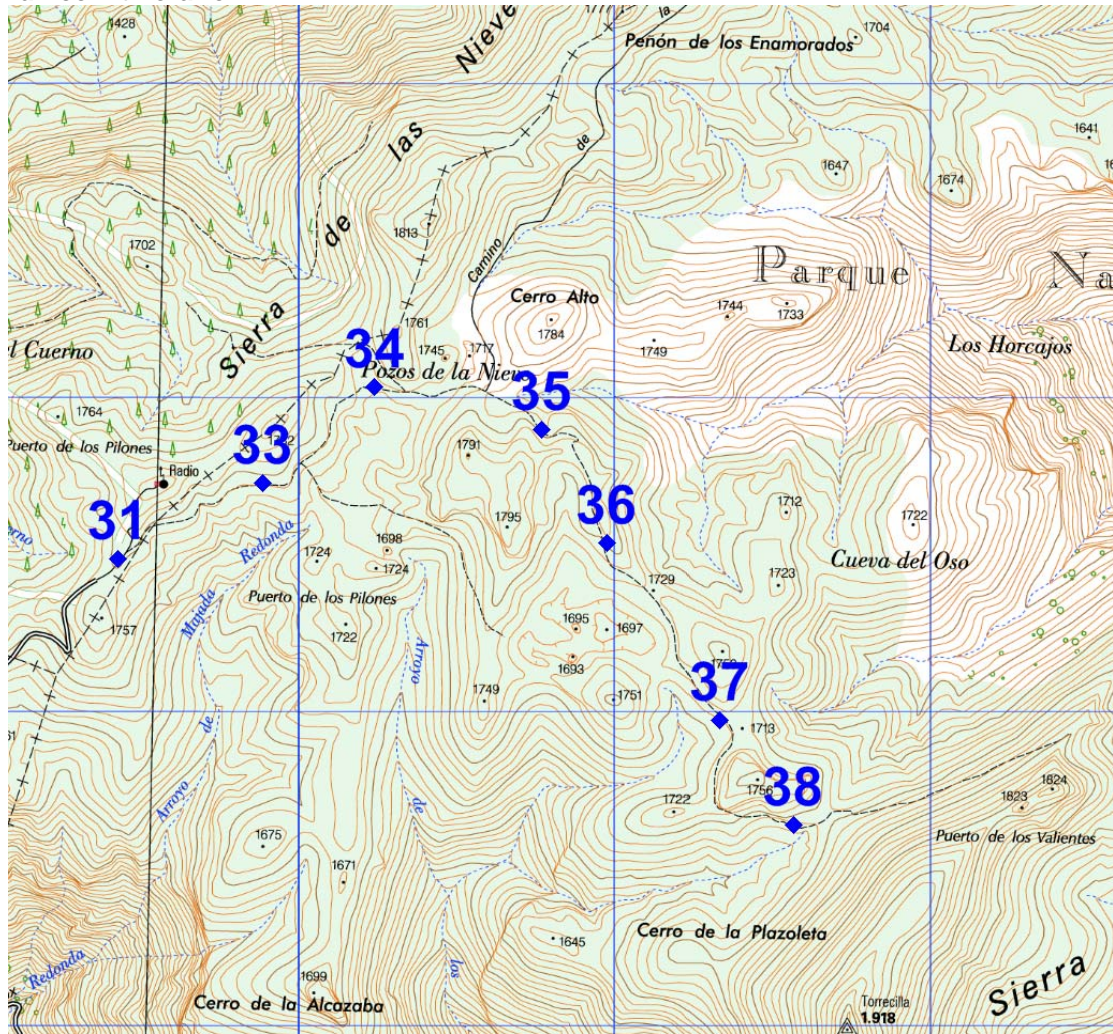
ESTACIÓN Nº 31 En el puerto, a la izquierda





## ITINERARIO 5, estaciones (31), 33, 34, 35, 36, 37 y 38. Recorrido peatonal por senda

31 común con itinerario 4





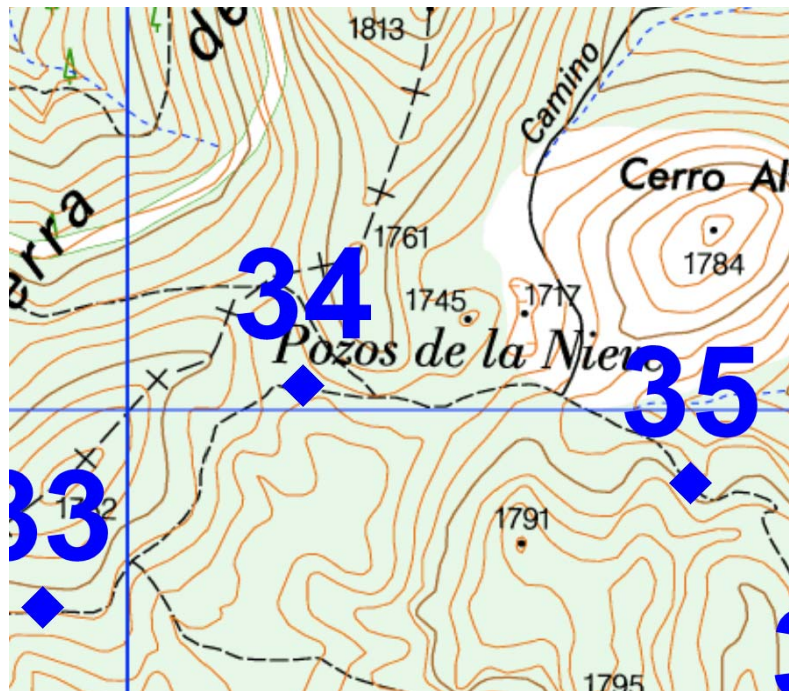






34 X=320237,61 Y=4063034,79 Z=1724,07

**ESTACIÓN Nº 34** Itinerario Puerto Pilonas-Puerto Valientes, próximo a los pozos de nieve, a unos 470 m de la estación 33

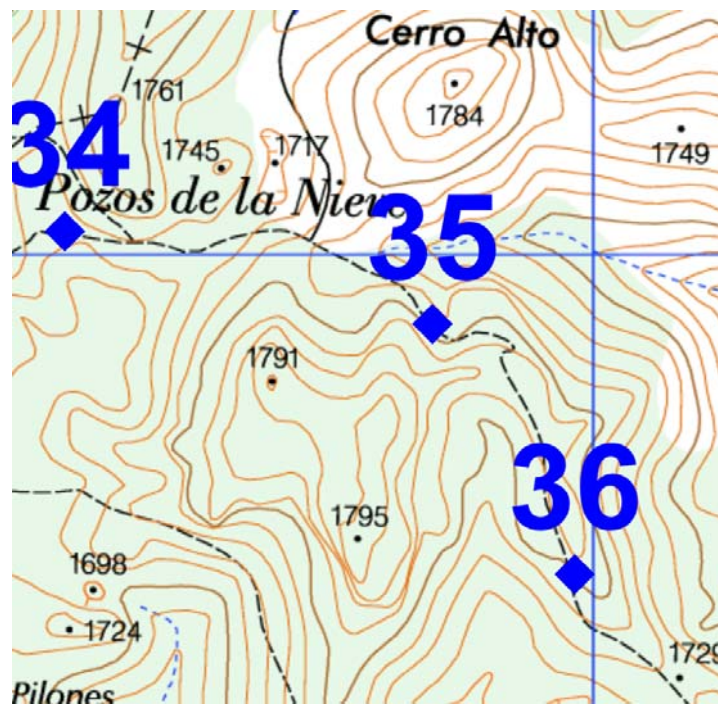






35 X=320766,92 Y=4062899,99 Z=1745,96

ESTACIÓN Nº 35 Itinerario Puerto Pilones-Puerto Valientes, a unos 550 m de estación 34

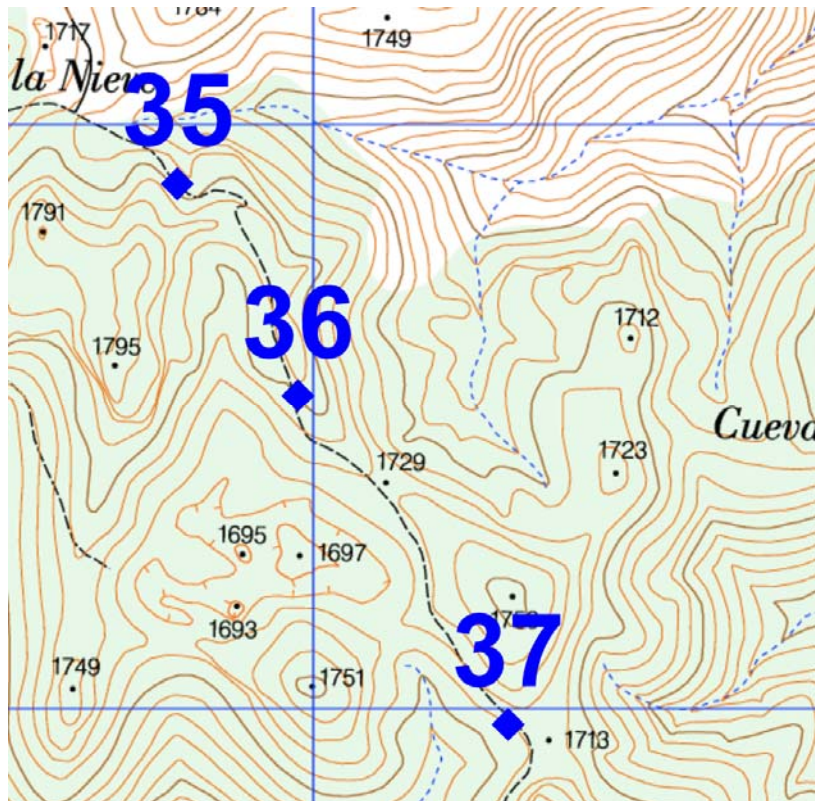






36 X=320972,32 Y=4062537,42 Z=1750,27

**ESTACIÓN Nº 36** Itinerario Puerto Pilones-Puerto Valientes, a unos 400 m de estación 35







37 | X=321331,94 | Y=4061975,01 | Z=1710,14

**ESTACIÓN Nº 37 (FOTO NO SEGURA)** En inicio del descenso hacia el Puerto de los Valientes, a la derecha, a unos 670 m de estación 36.







38 X=321564,07 Y=4061640,78 Z=1686,15

ESTACIÓN Nº 38 En puerto de los Valientes.



[Página dejada intencionadamente en blanco]



## **ANEXO III**

### **EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA DE AGOSTO DE 2011**

- **Gráficos del efecto de la presión atmosférica**
- **Gráficos de lecturas en base y estaciones de los programas de gravimetría**

[Página dejada intencionadamente en blanco]



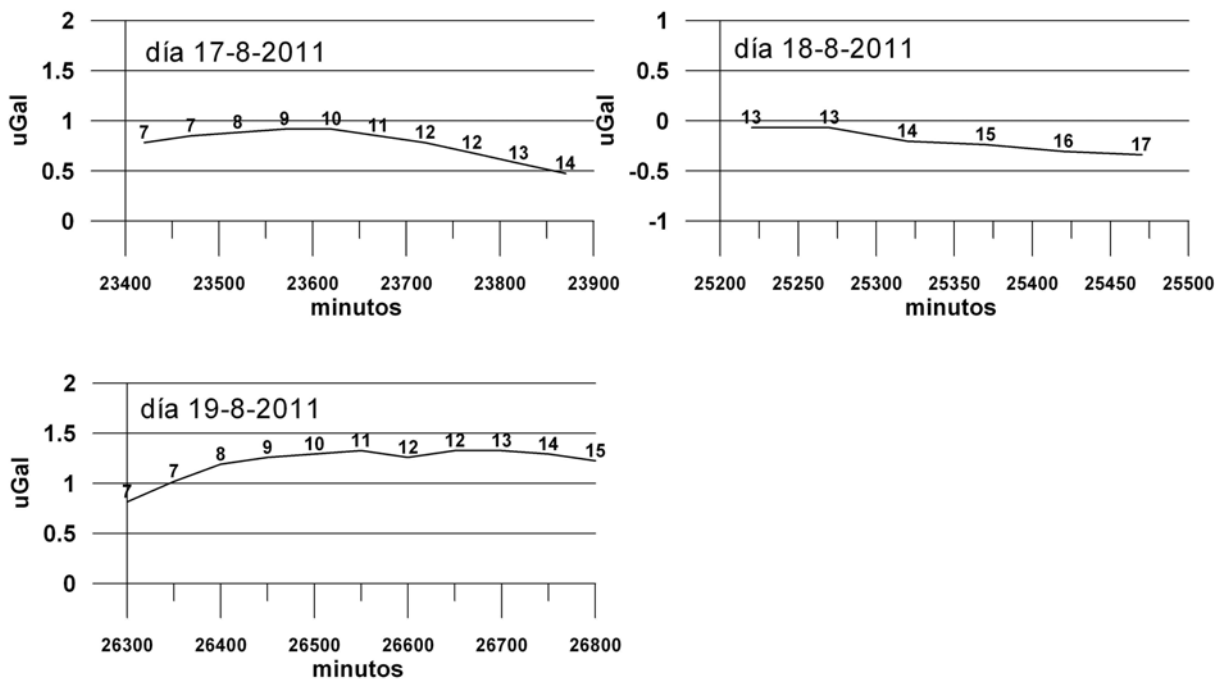
## Gráficos del efecto de la presión atmosférica

La corrección por variación de la gravedad debida a la variación de la presión atmosférica no se ha sido tomada en cuenta en los cálculos de las anomalías, debido a tener una variación inferior a 0.0005 mGal a lo largo de un programa de mediciones.

Se adjuntan las correcciones, de forma gráfica, para cada día de la campaña de agosto de 2011. Se ha tomando como referencia las 00:00 h del día 1 de agosto. Los datos de presión han sido facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología, y pertenecen a la estación de Grazalema, cada 10 minutos. El tiempo está en minutos desde el origen, representándose la variación para el intervalo de tiempo de medición de los programa de gravimetría, indicándose las horas sobre las correspondientes curvas.

### CORRECCIÓN DE GRAVEDAD POR VARIACIÓN DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Valores cada 10 minutos  
Tiempo en minutos acumulados desde las 00:00 h del día 1-8-2011  
números en las curvas: hora del día

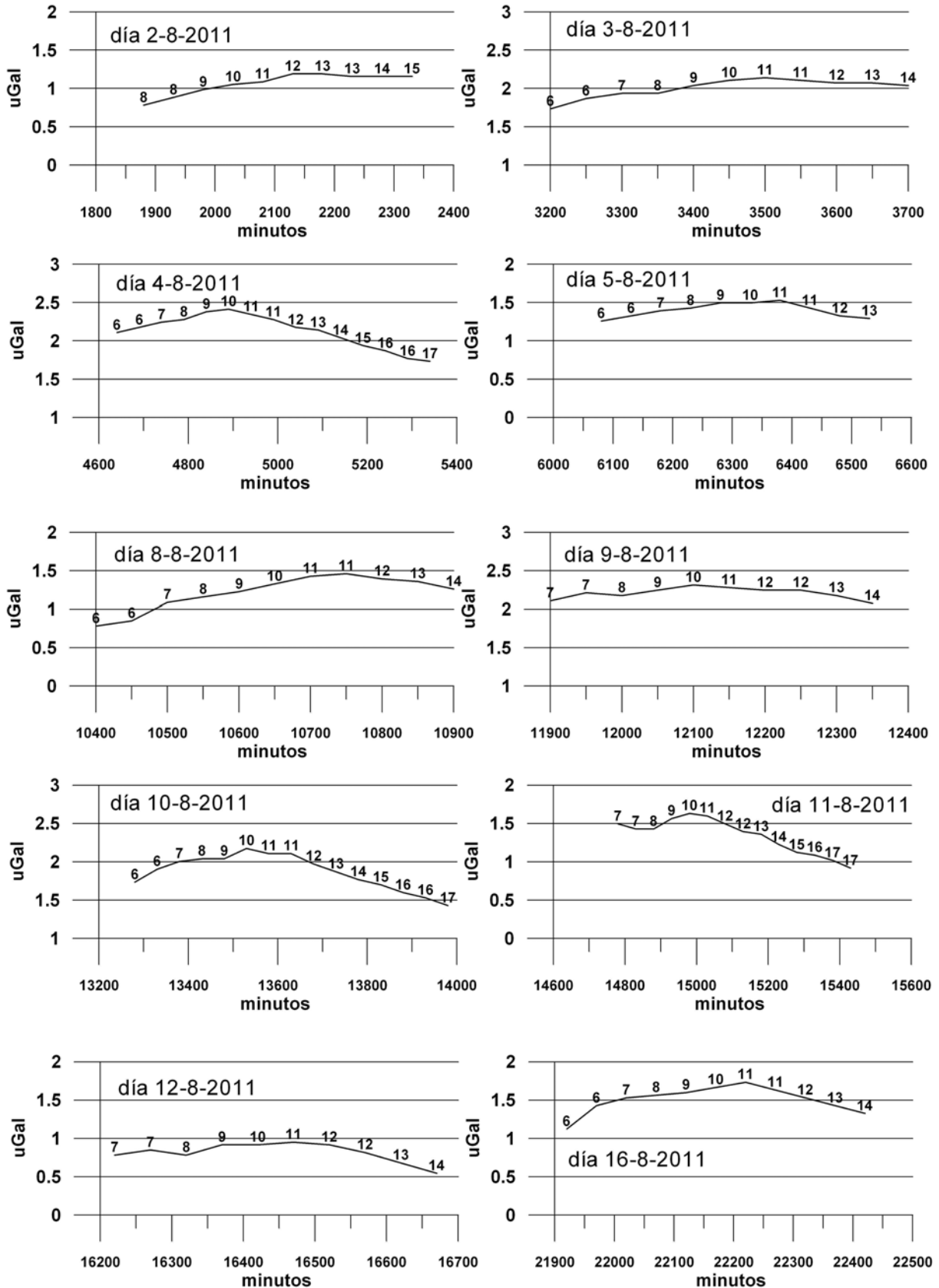


**CORRECCIÓN DE GRAVEDAD POR VARIACIÓN DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA**

Valores cada 10 minutos

Tiempo en minutos acumulados desde las 00:00 h del día 1-8-2011

números en las curvas: hora del día



## Gráficos de lecturas en base y estaciones de los programas de gravimetría

Para cada programa de medidas se presentan en primer lugar las lecturas de apertura y cierre en la Base100, y a continuación las lecturas en las estaciones del programa. Se indica mediante un aspa de color rojo las lecturas rechazadas o más dudosas, bien por ser las primeras efectuadas antes de la nivelación del gravímetro o bien por cualquier otra causa (rechazos, ruido, etc.). Para la Base se ha trazado con una línea azul la tendencia de las lecturas en la apertura, y en color rojo la tendencia del cierre, cuando es netamente diferente de la de apertura. Con una cruz verde se indica el ciclo o lectura seleccionada. Las lecturas seleccionadas en la apertura y cierre en base son las utilizadas para el cálculo de la deriva del programa; la lectura de apertura en base es además la utilizada para el cálculo de las anomalías (diferencia de lecturas entre estación y base).

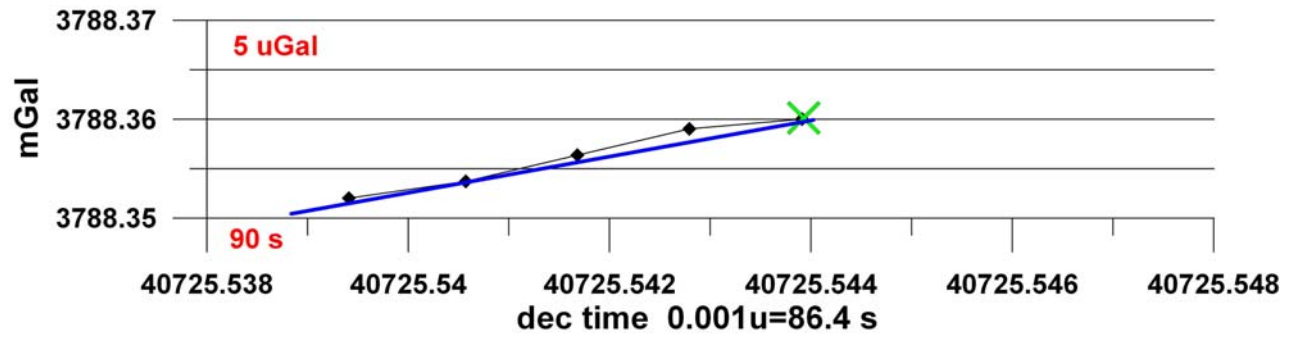
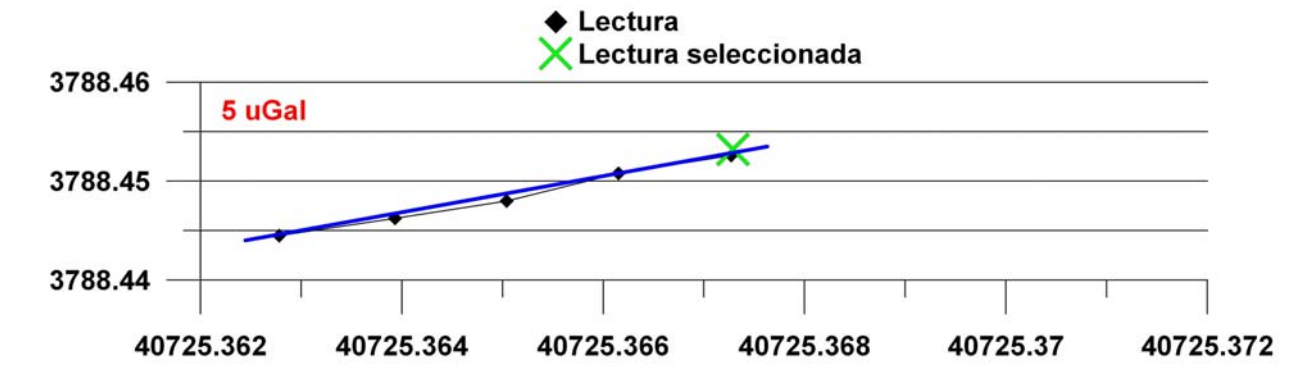
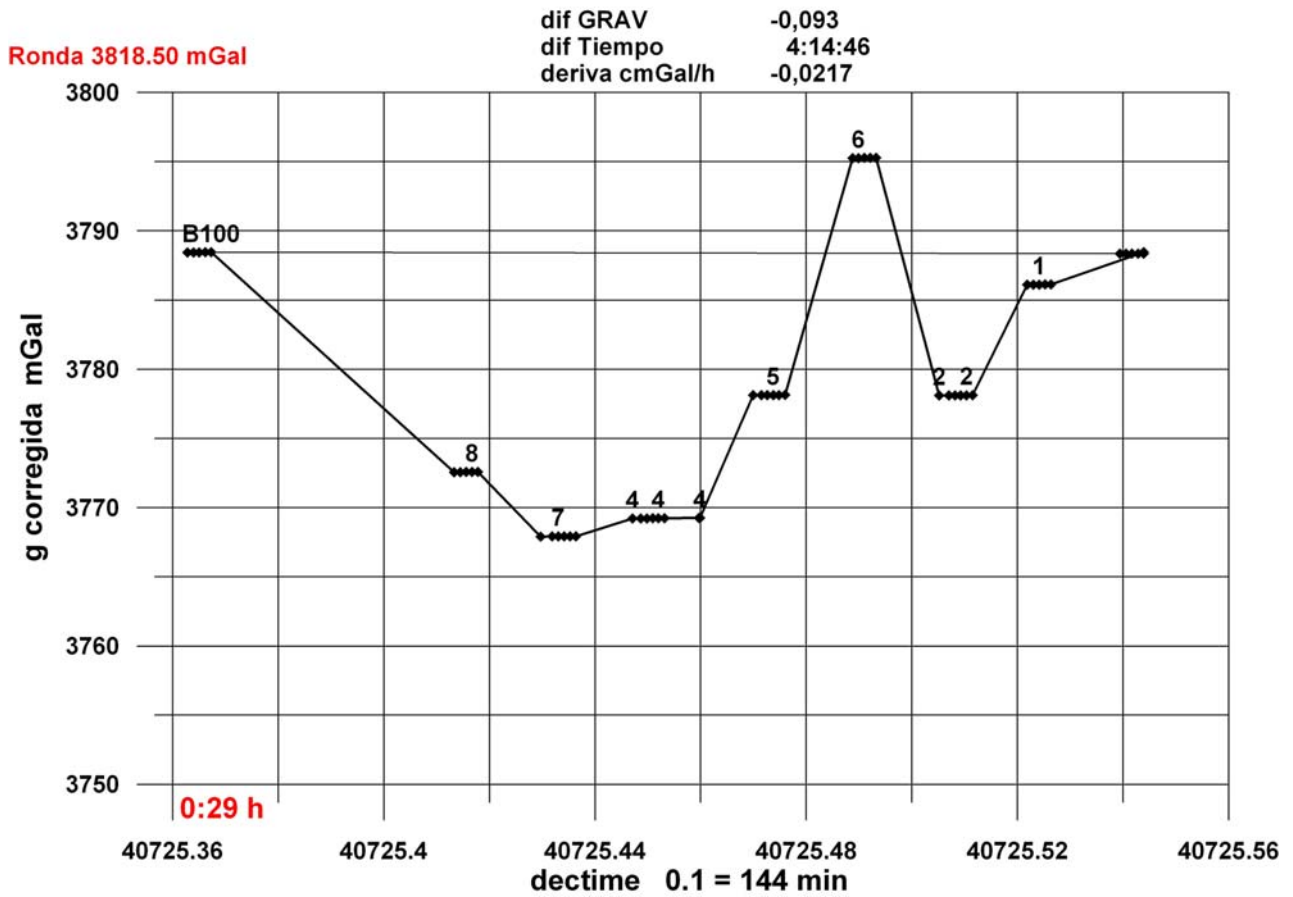
La línea de tendencia en la apertura en base se ha trasladado a las lecturas de las estaciones, permitiendo su inspección visual apreciar la mayor o menor fiabilidad del criterio para la selección de lecturas.

La escala de todos los gráficos es la misma:

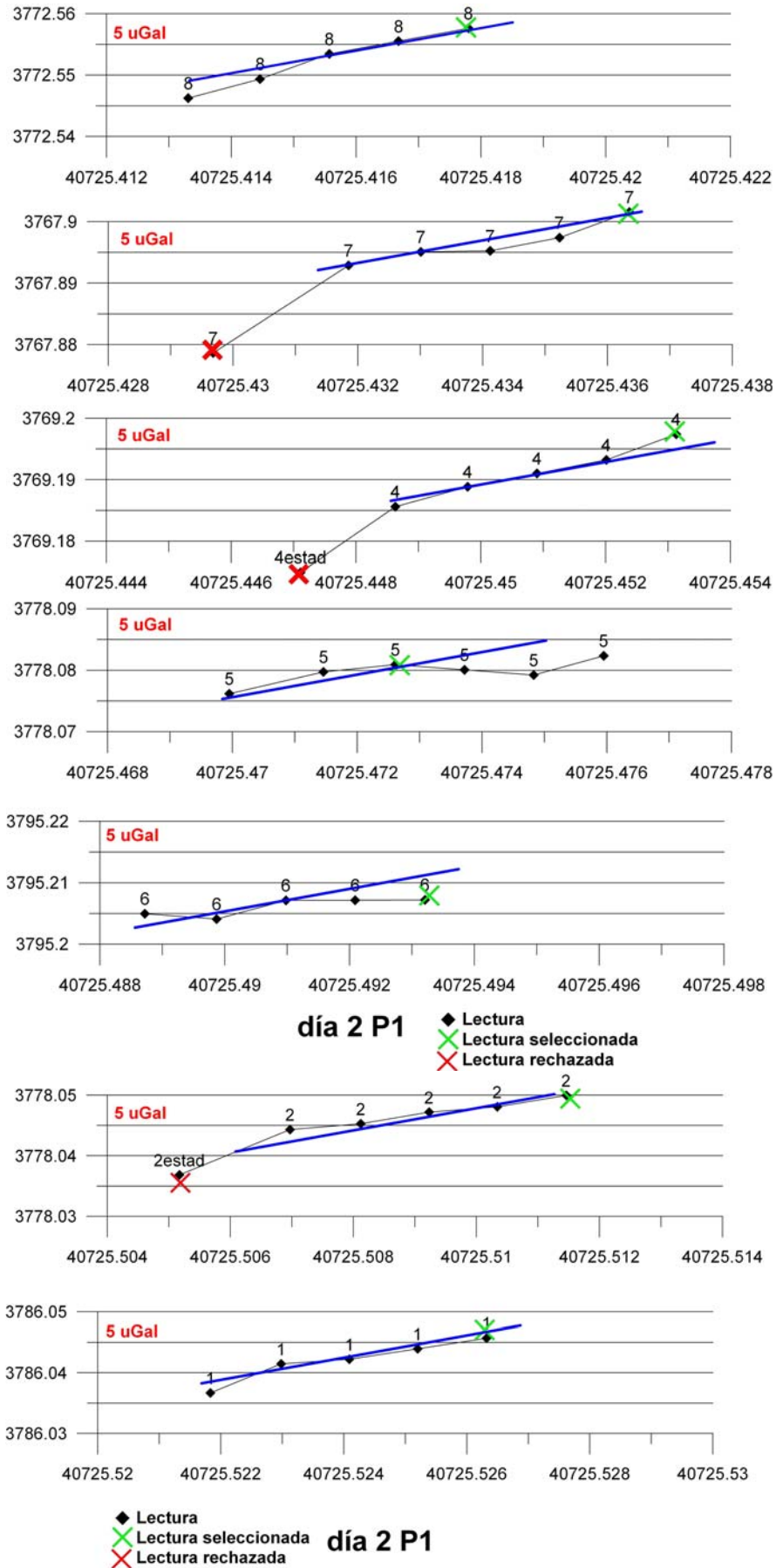
- eje de tiempos: 0.01 unidades de tiempo decimal, equivalente a unos 15 minutos a fondo de escala. Marcas mayores de tiempo cada 0.002 (unos 3 minutos).
- eje vertical: 0.020 mGal. Marcas y líneas cada 0.005 mGal.

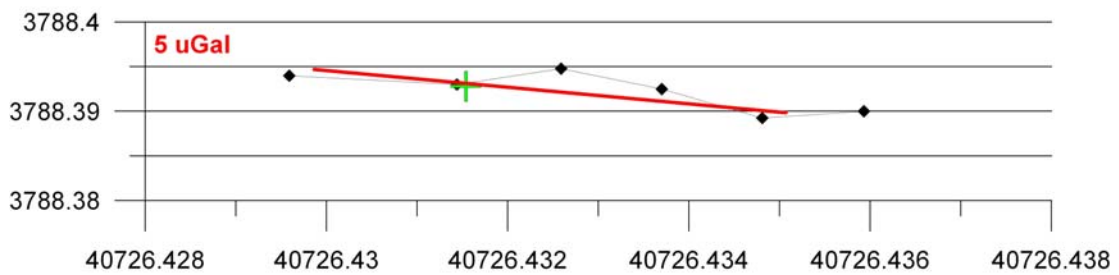
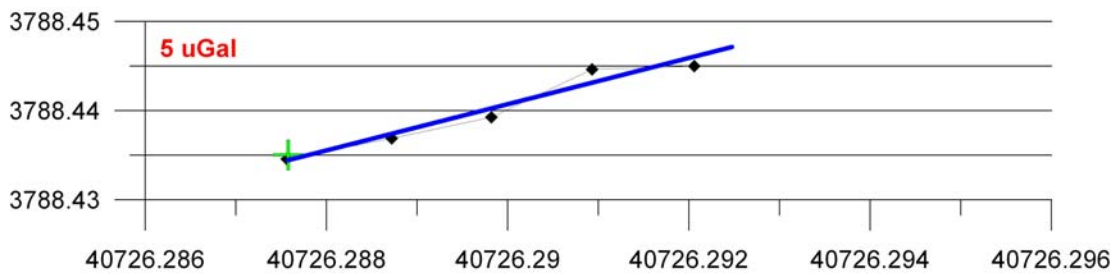
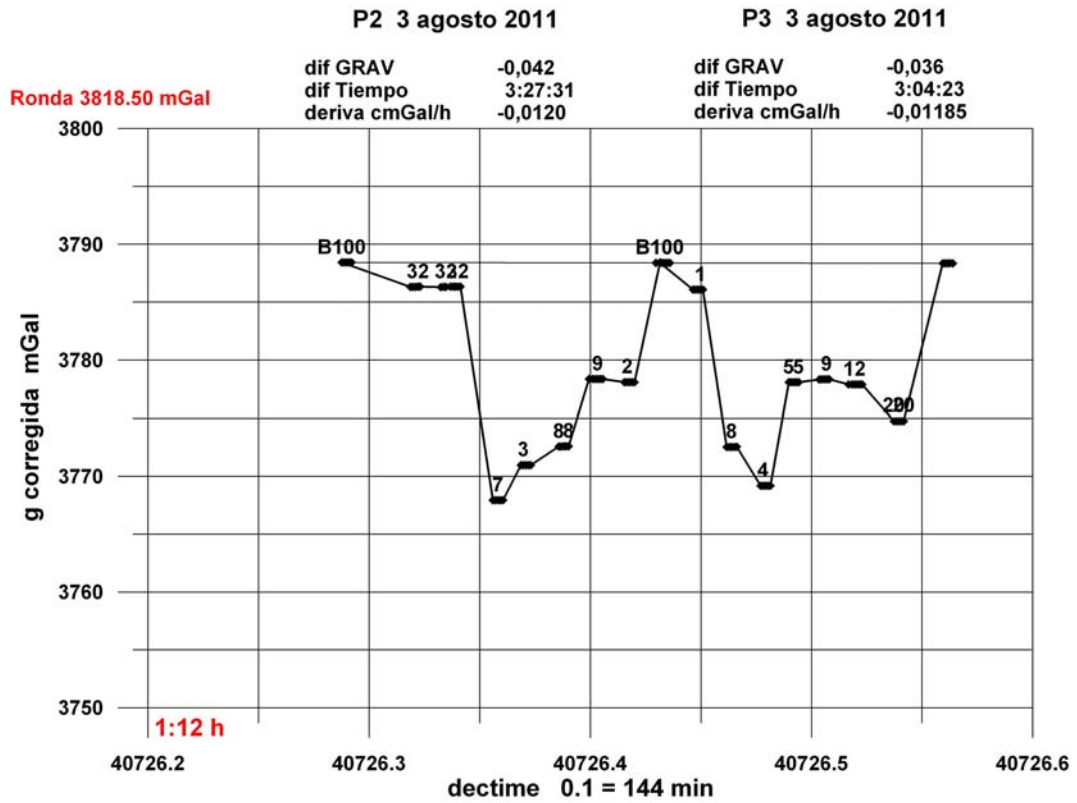


P1 2 agosto 2011



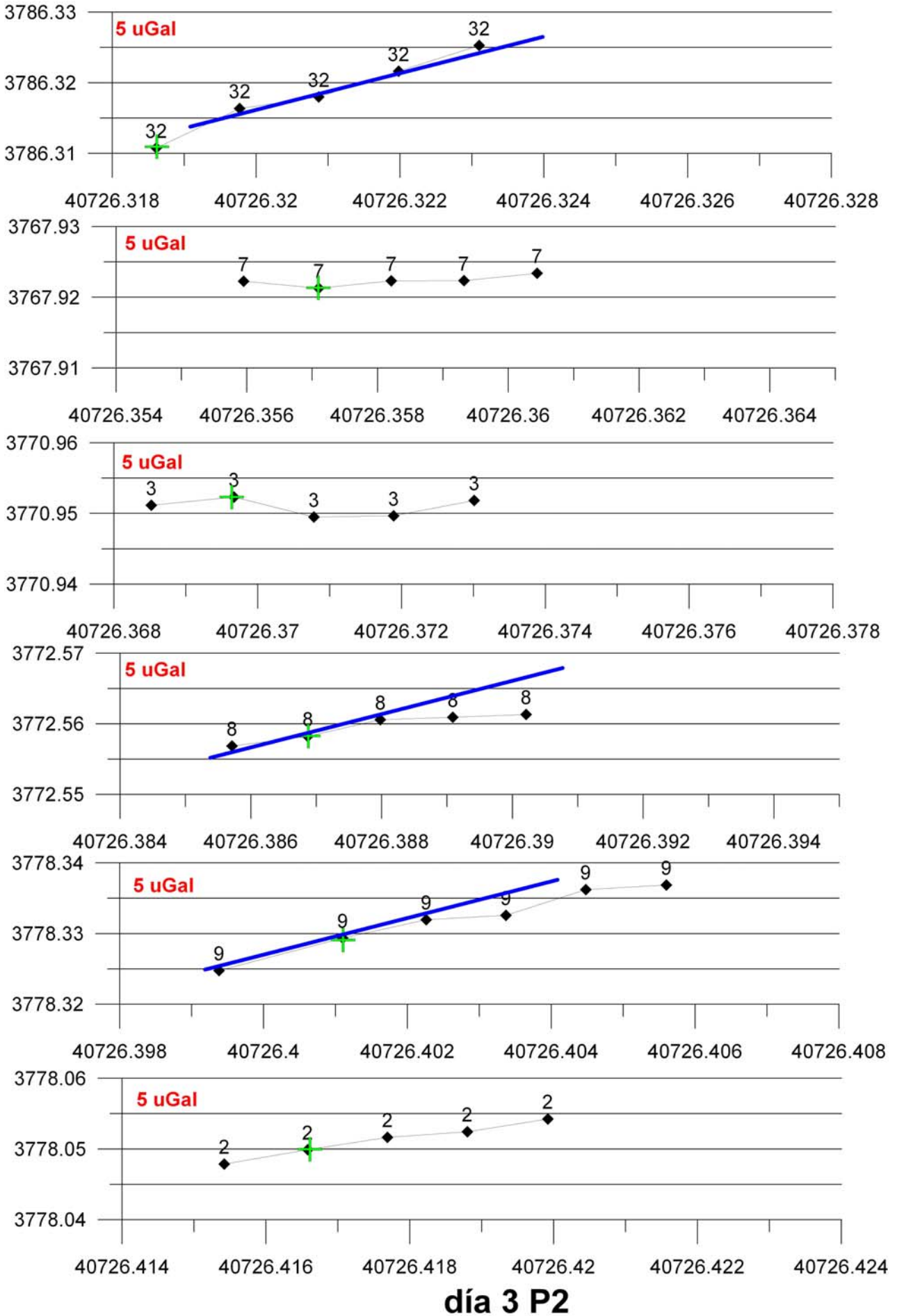
2011 BASE 100 día 2 P1

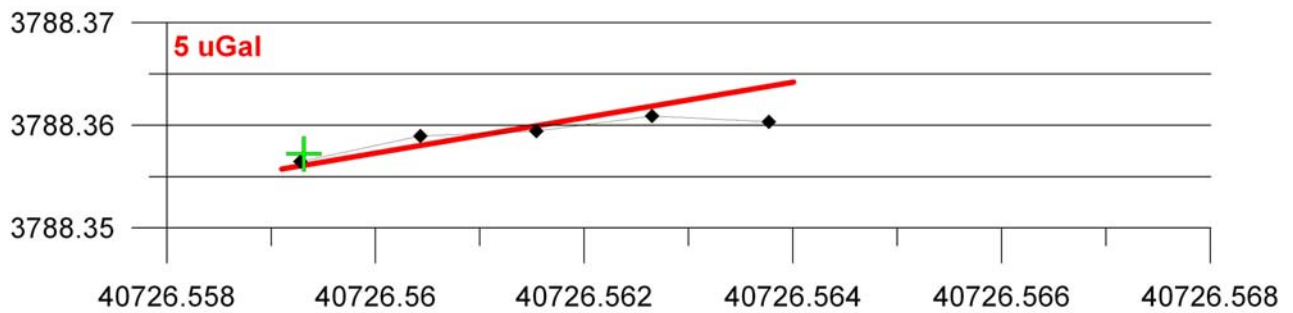
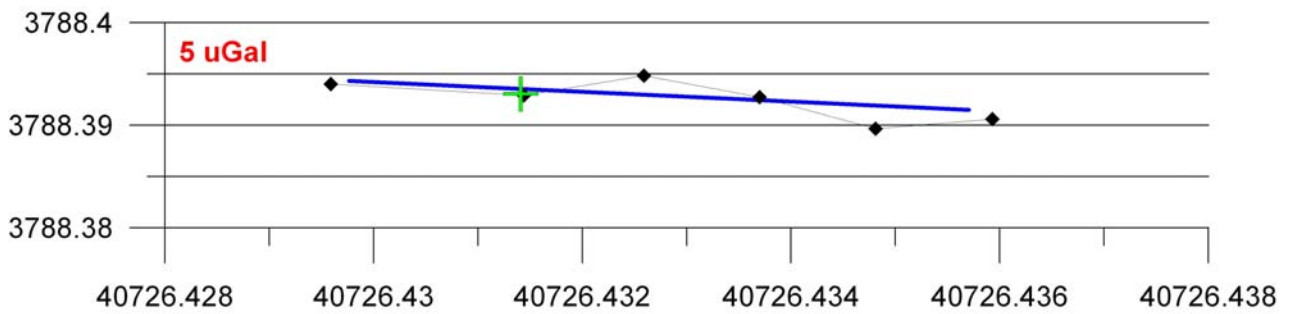
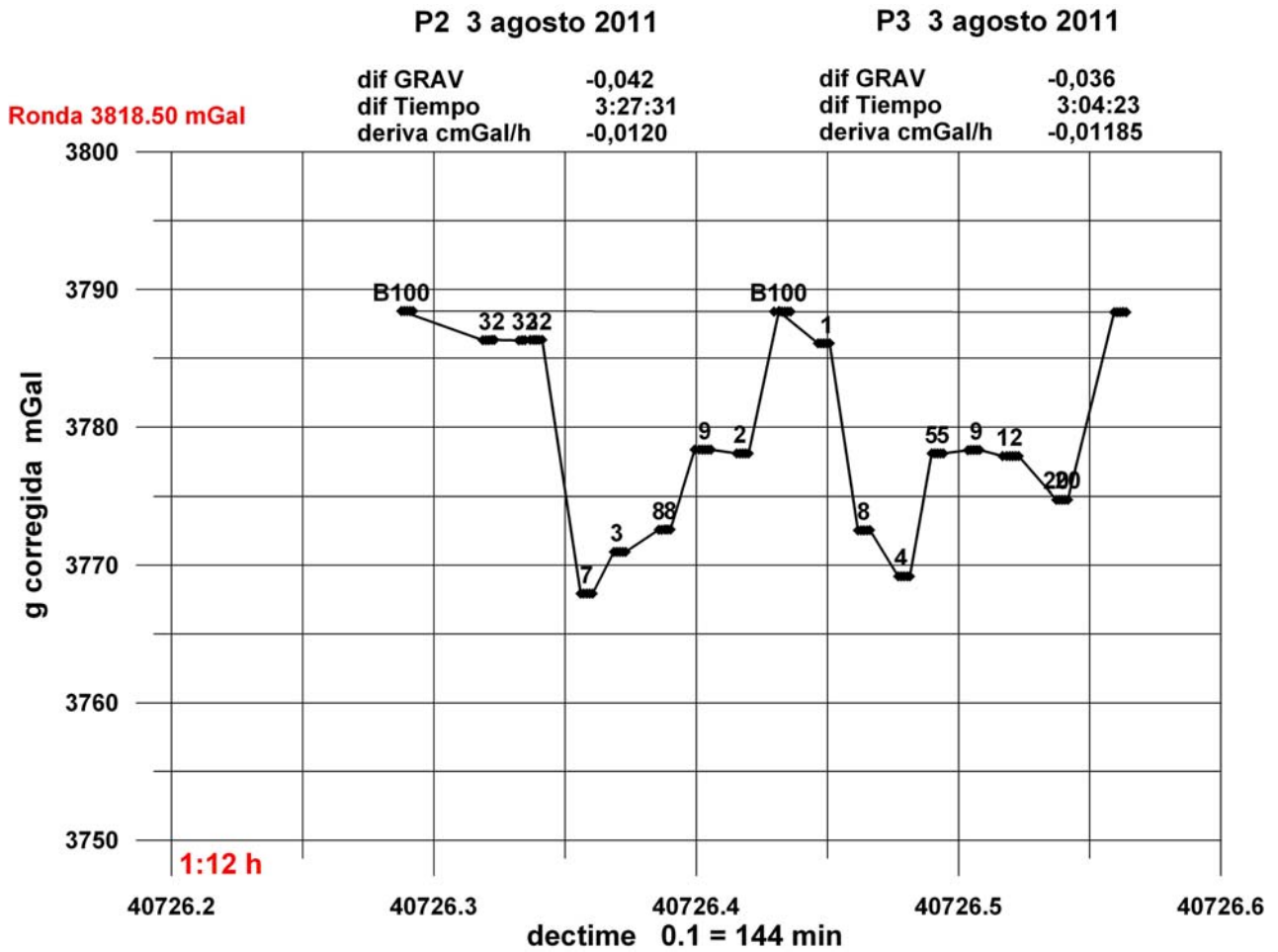




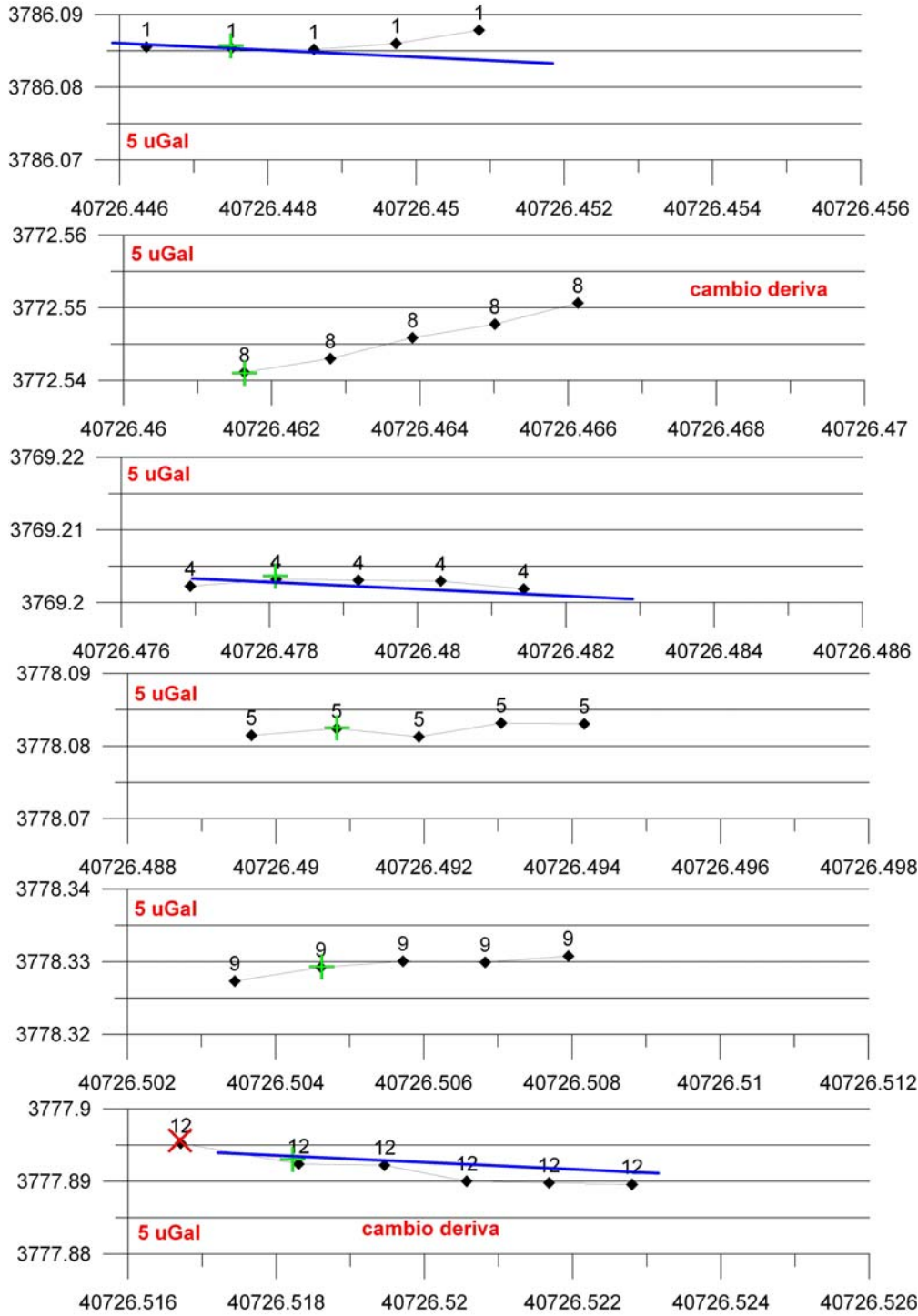
**BASE 100 día 3 P2**



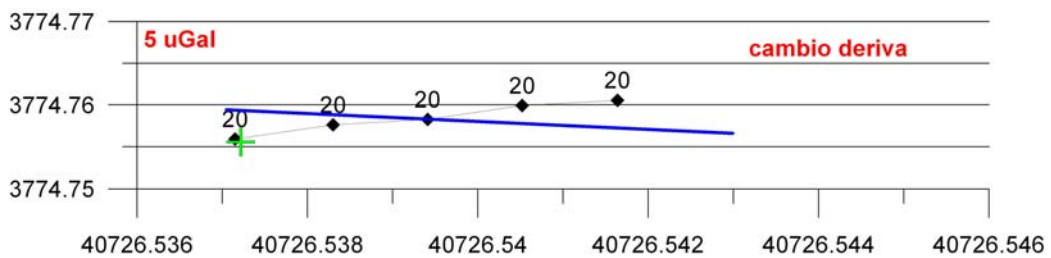




**BASE 100 día 3 P3**



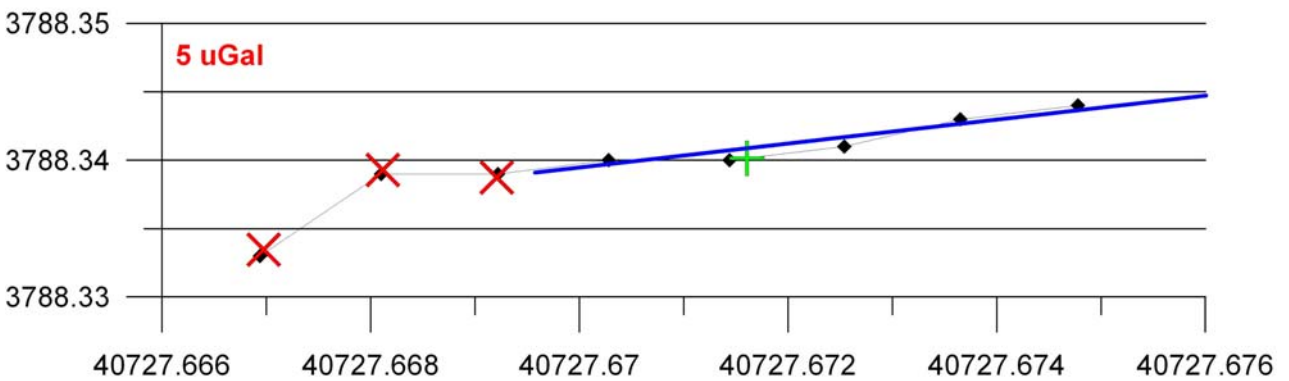
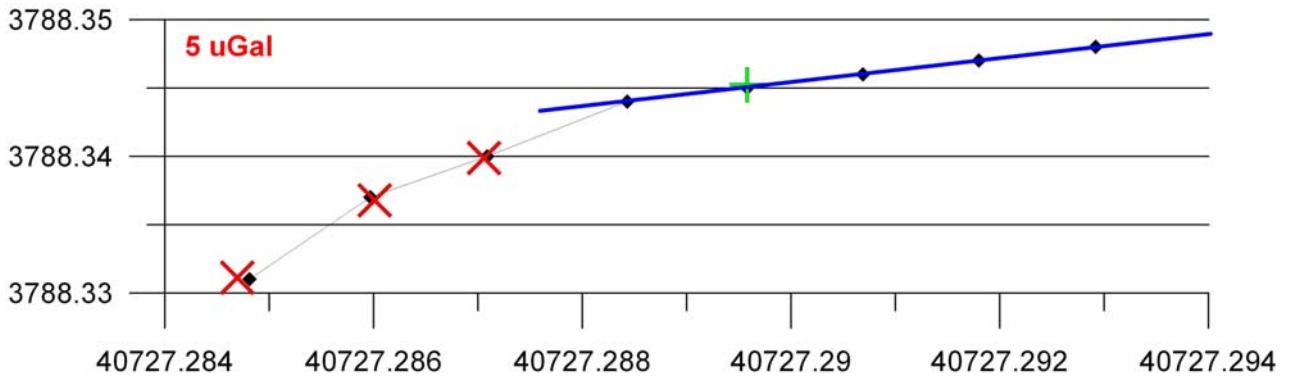
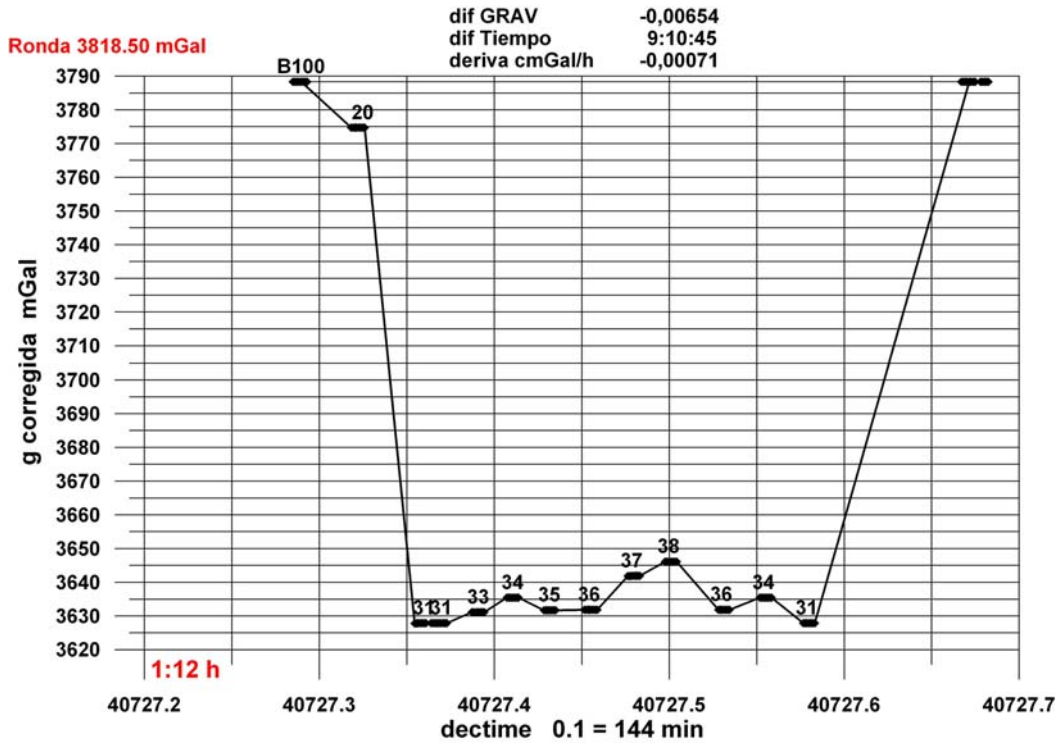
día 3 P3



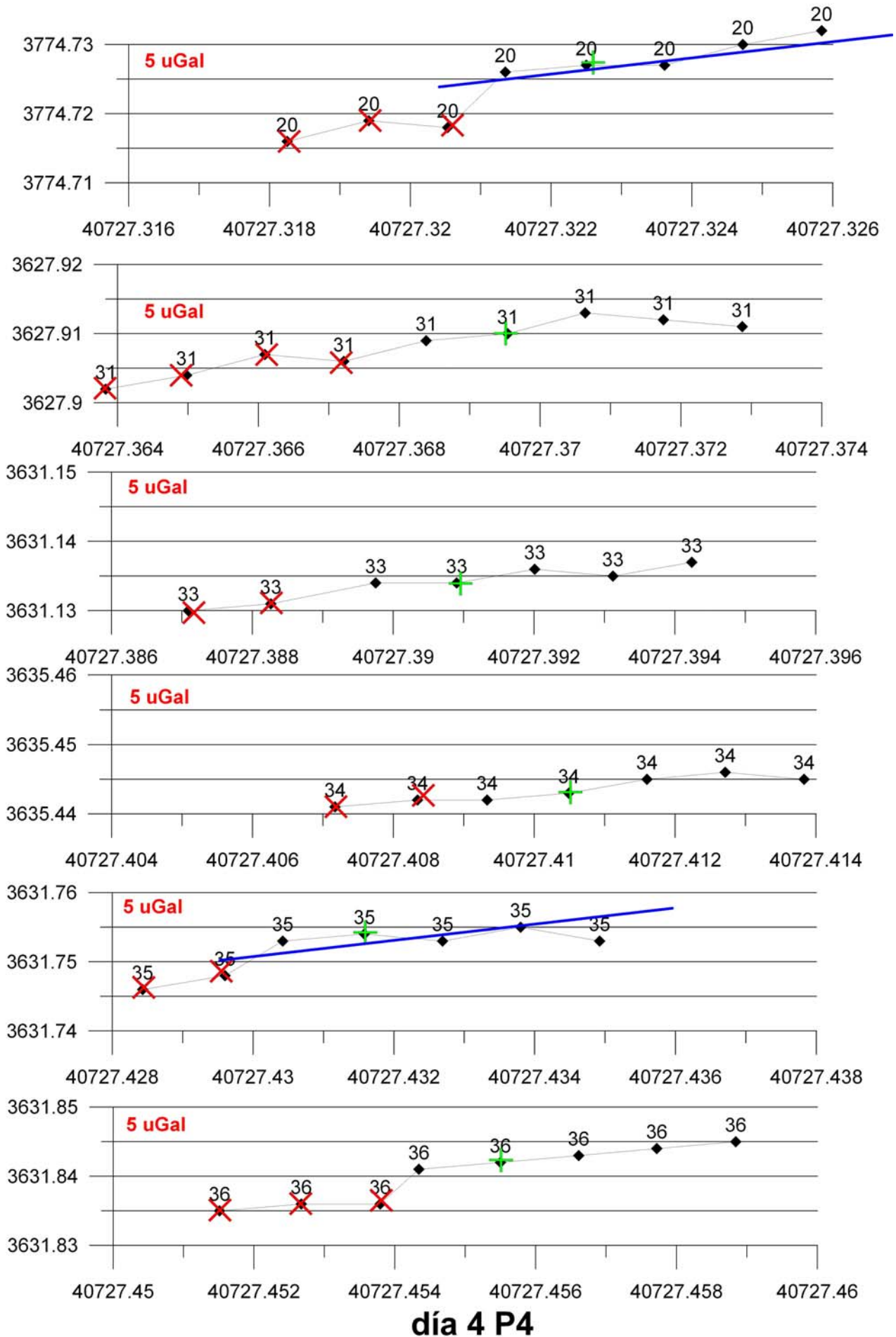
día 3 P3



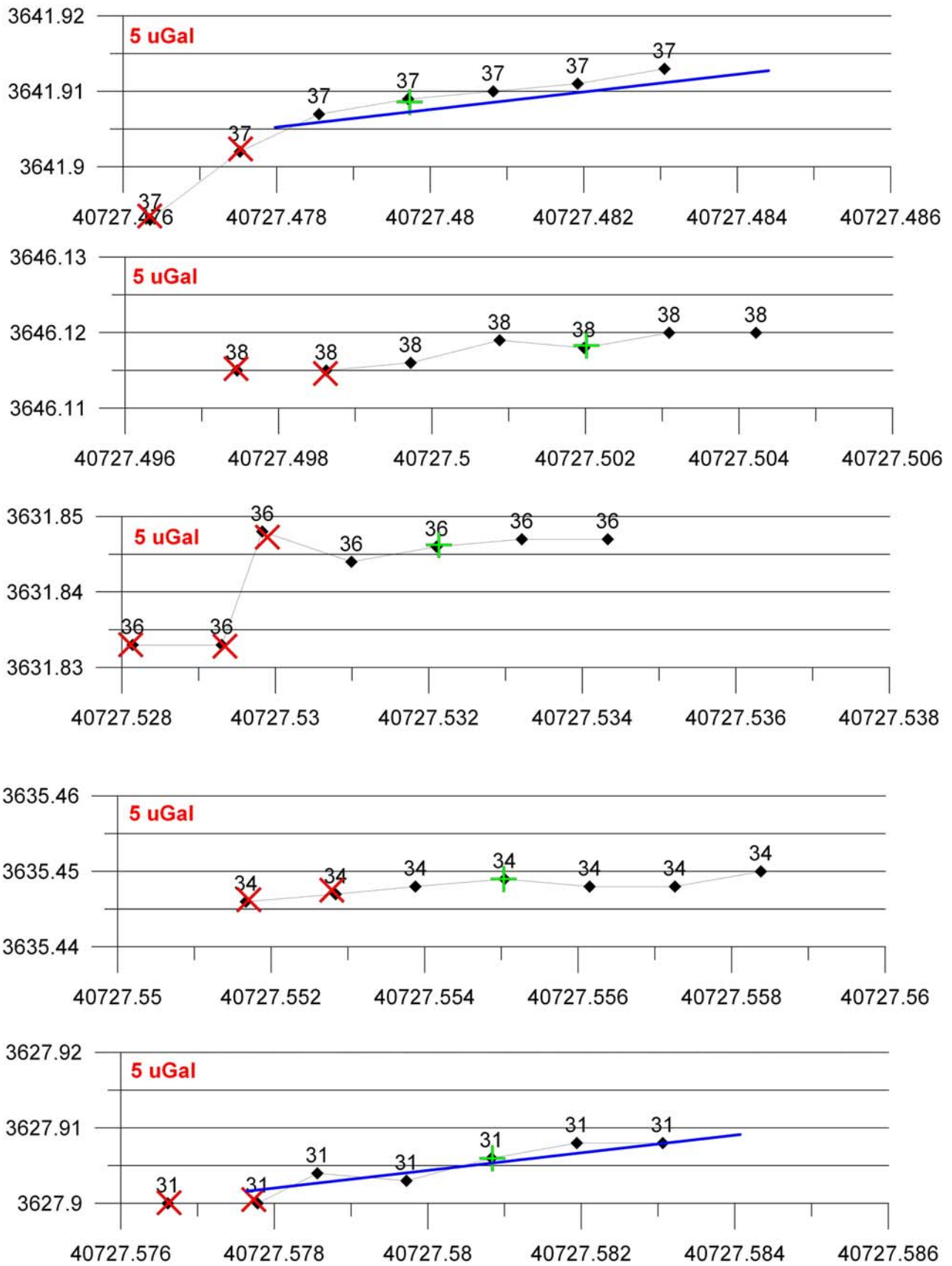
P4 agosto 2011



**BASE 100 día 4 P4**



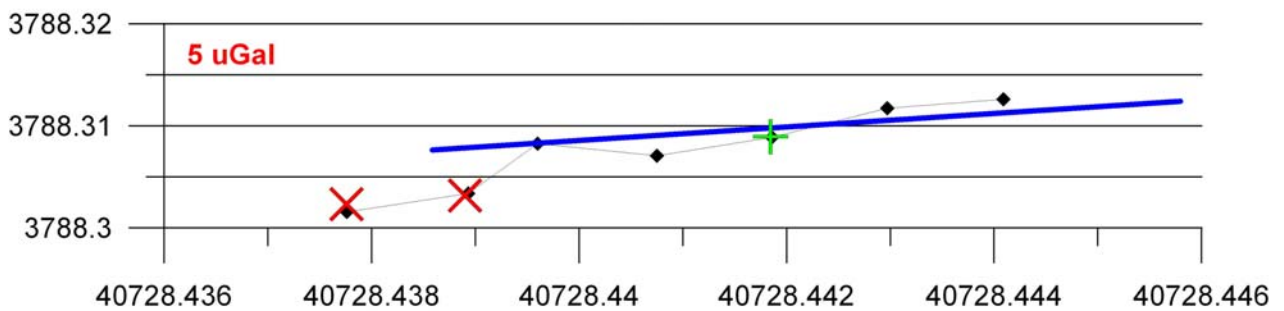
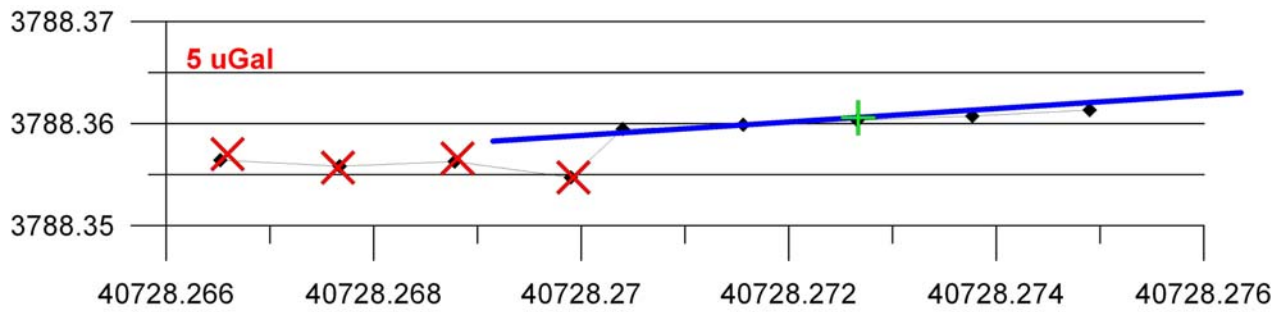
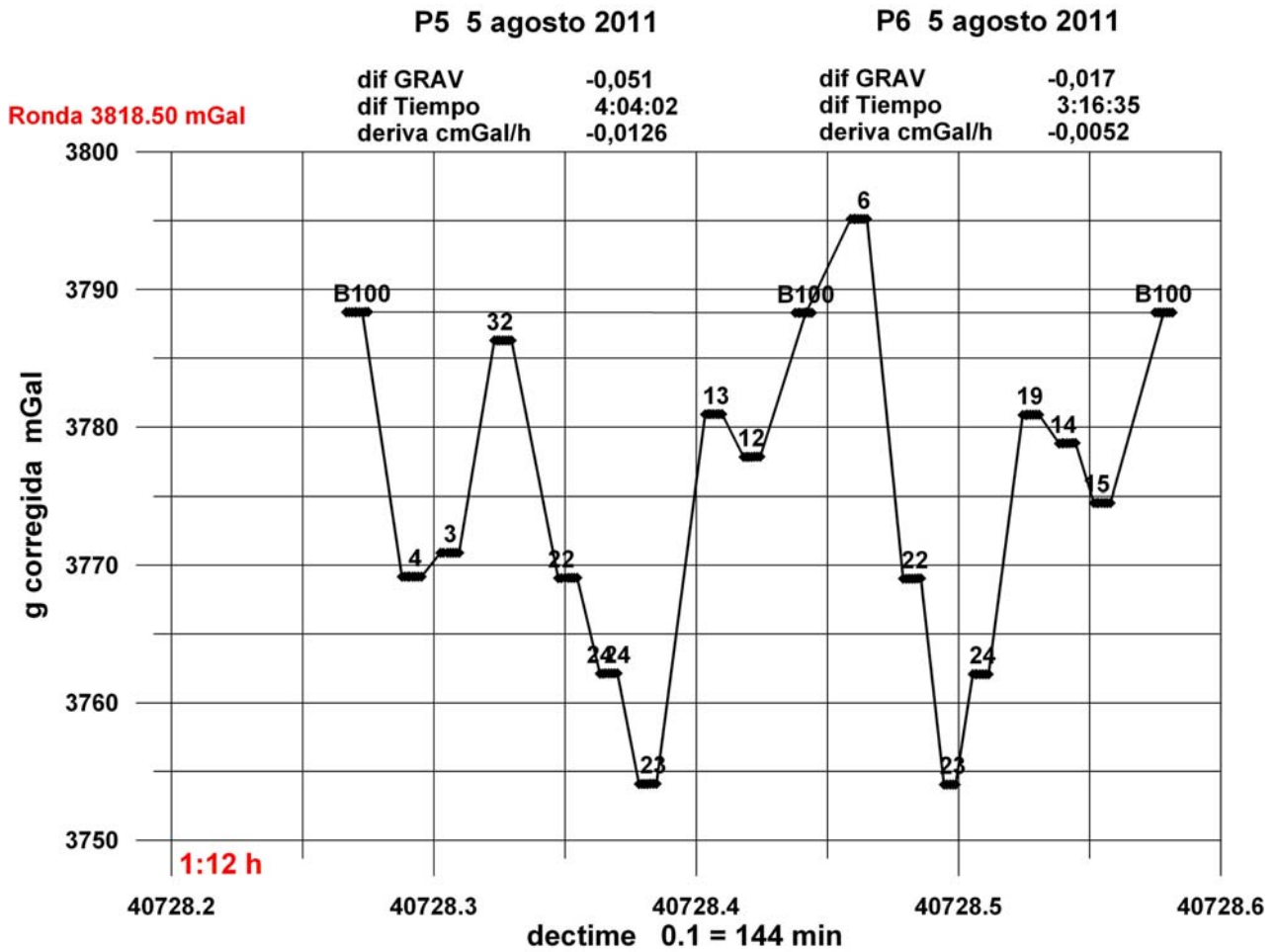
**día 4 P4**



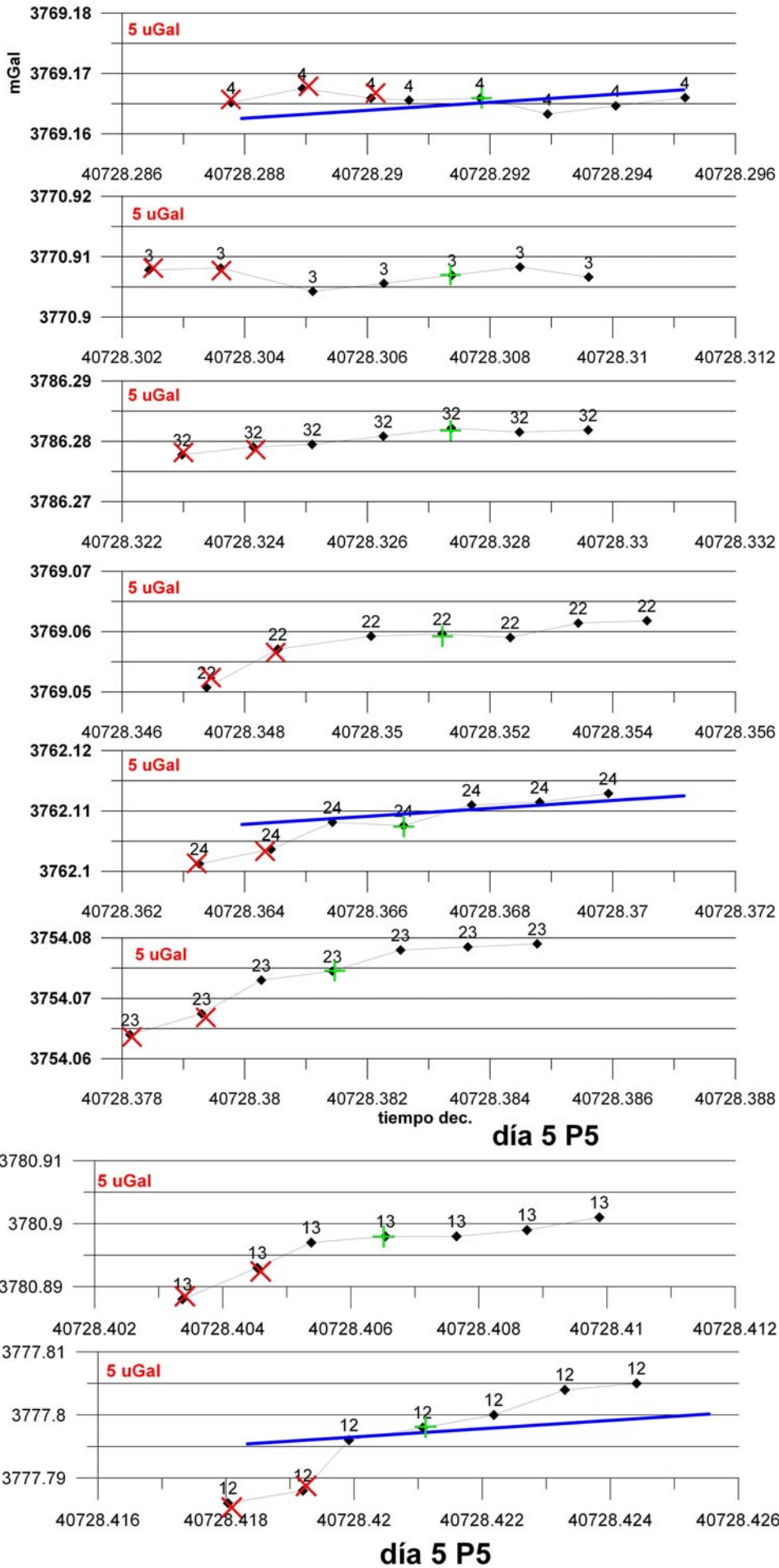
**día 4 P4**



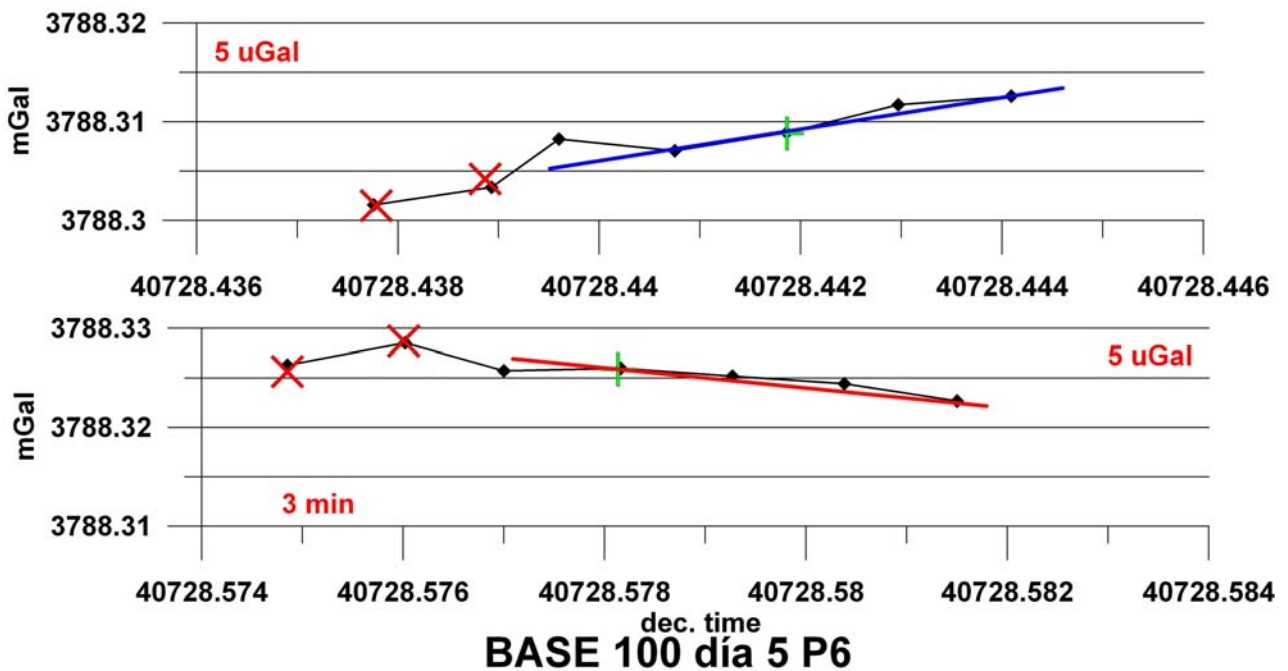
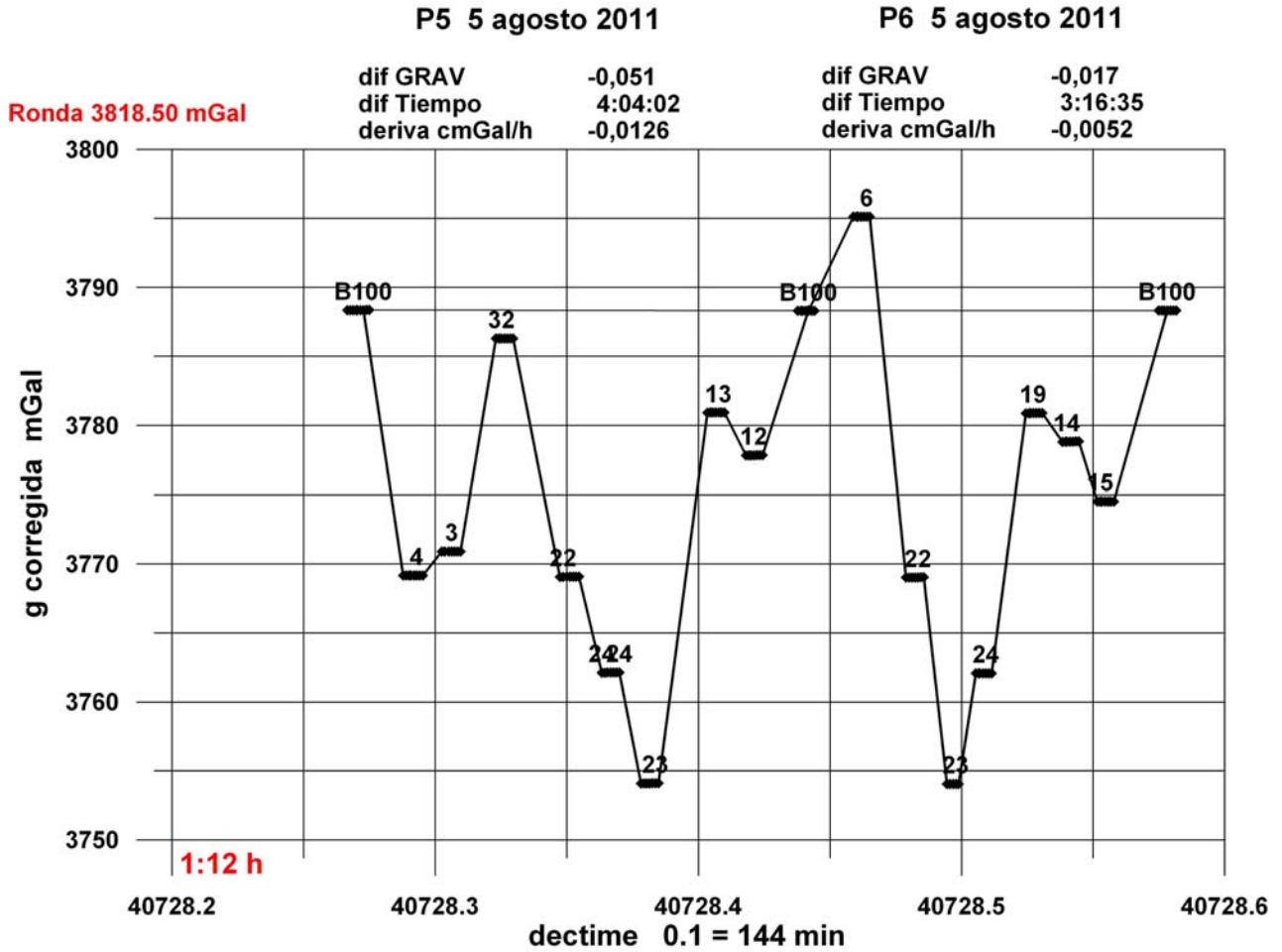
[Página dejada intencionadamente en blanco]

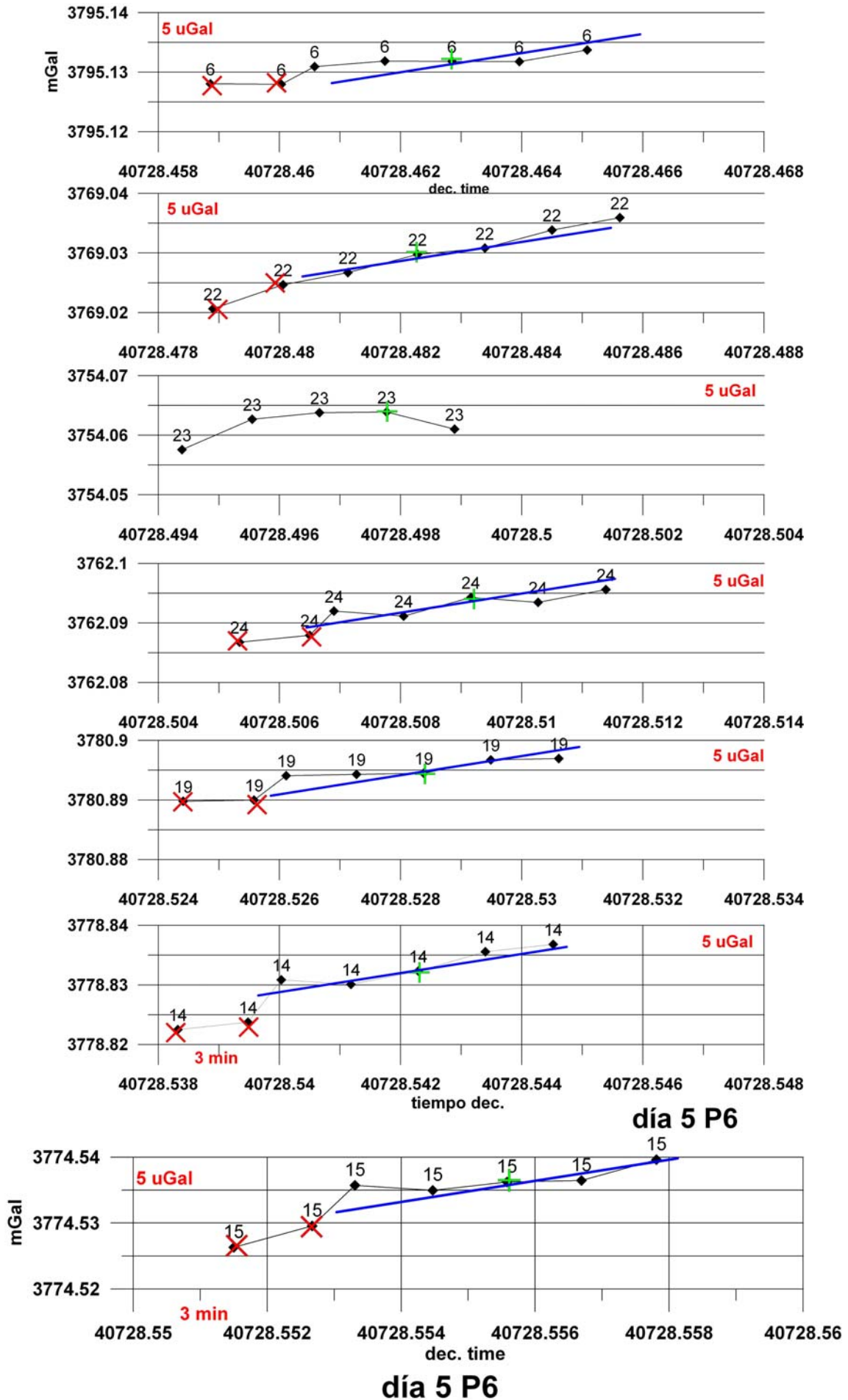


**BASE 100 día 5 P5**

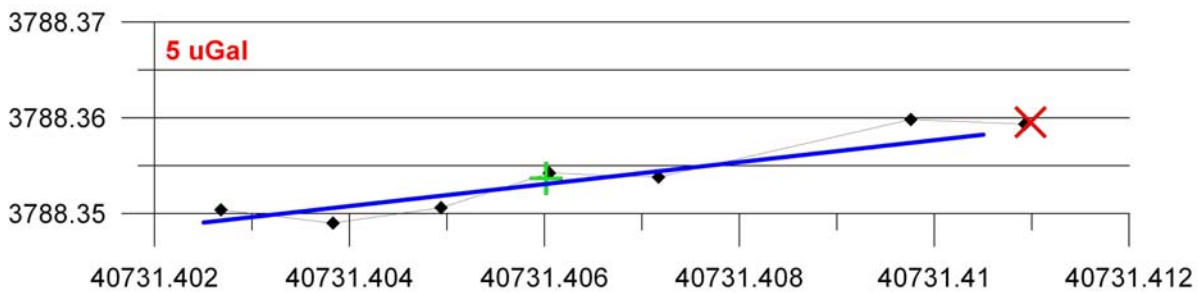
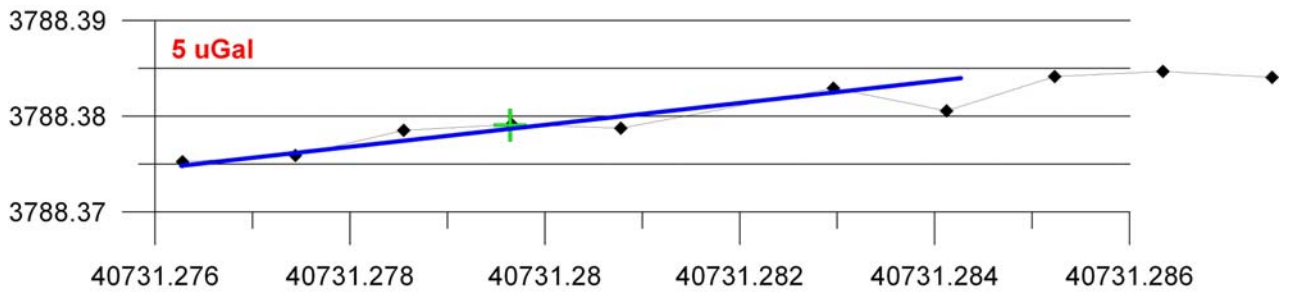
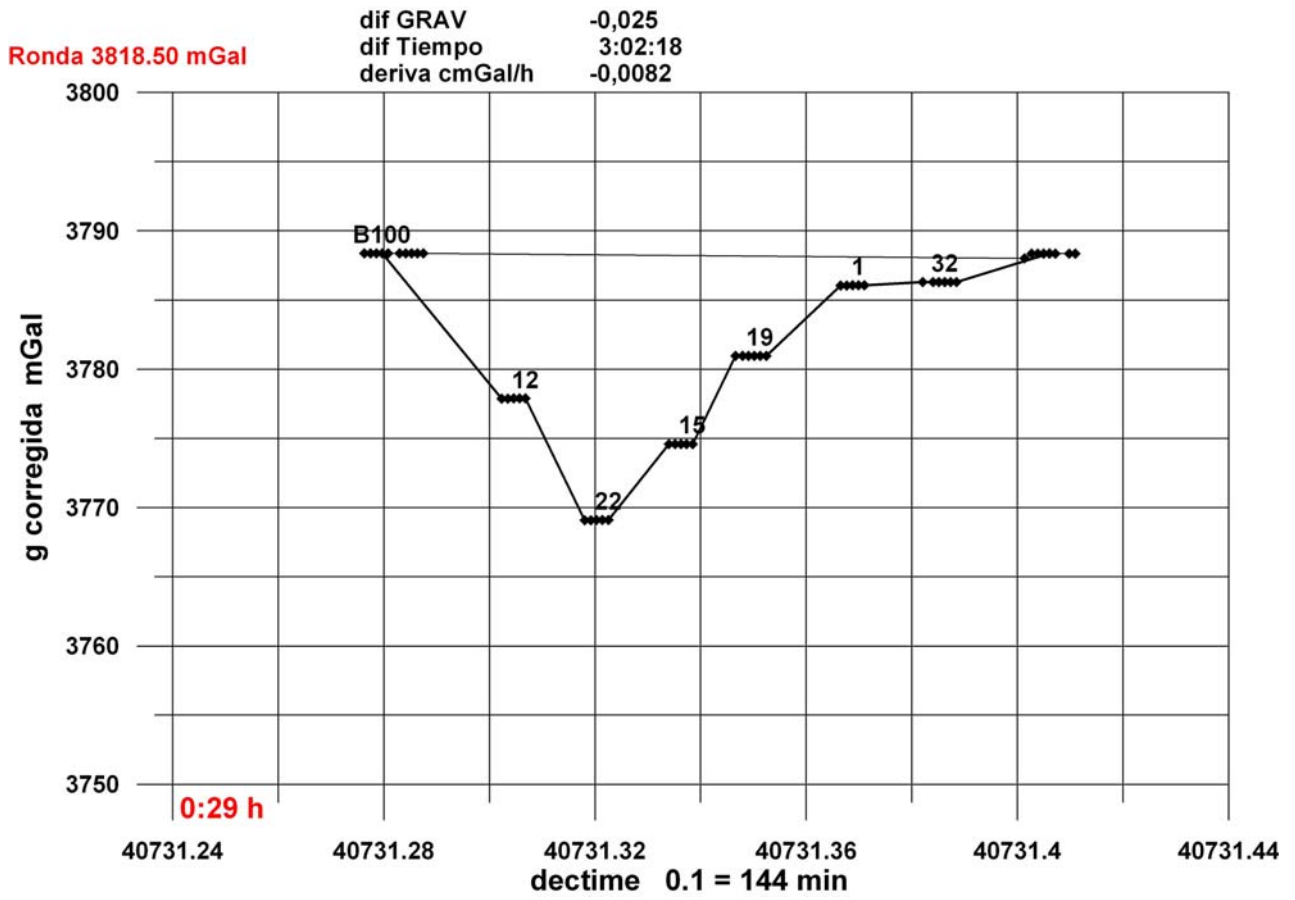






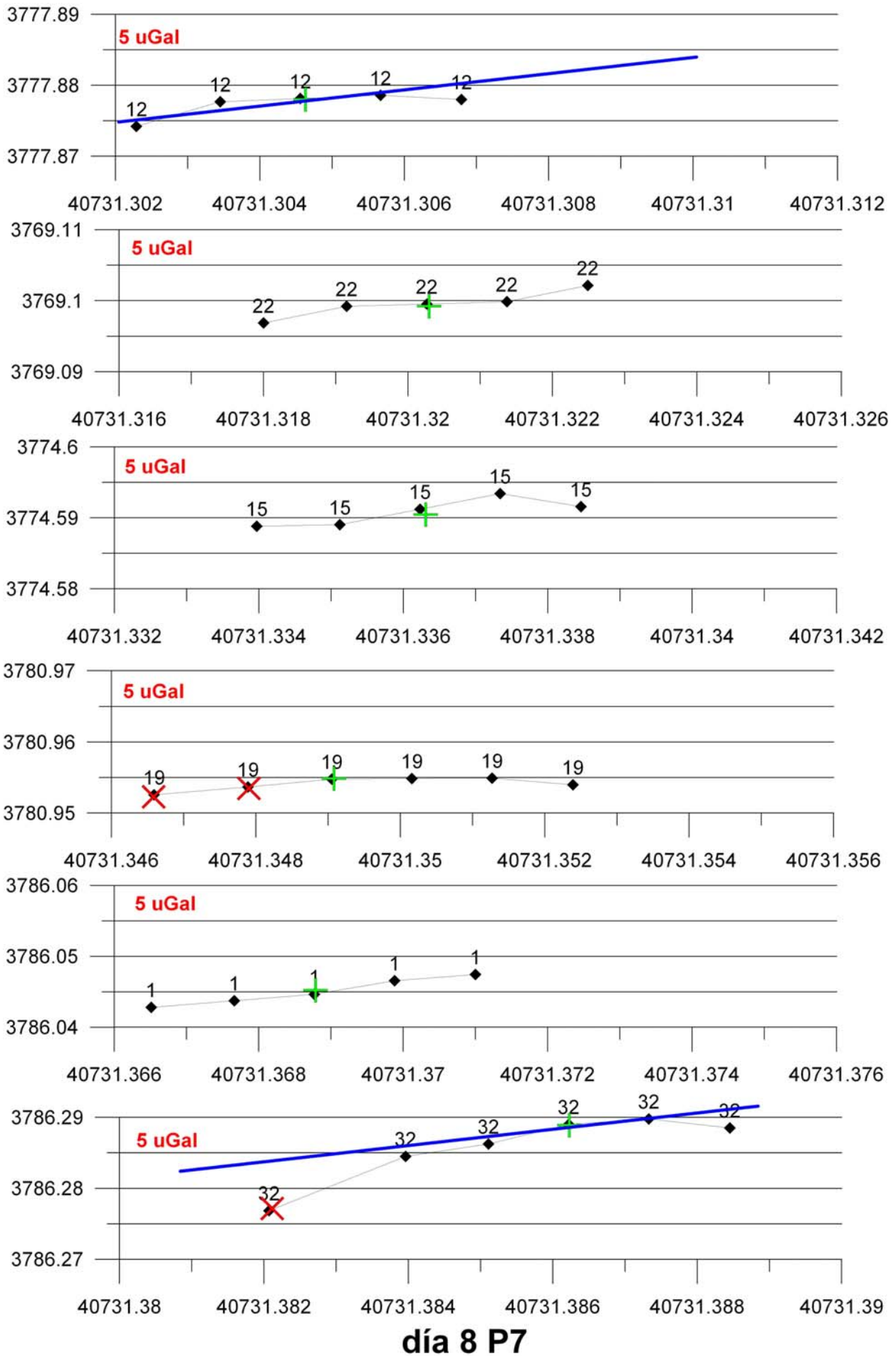


P7 8 agosto 2011

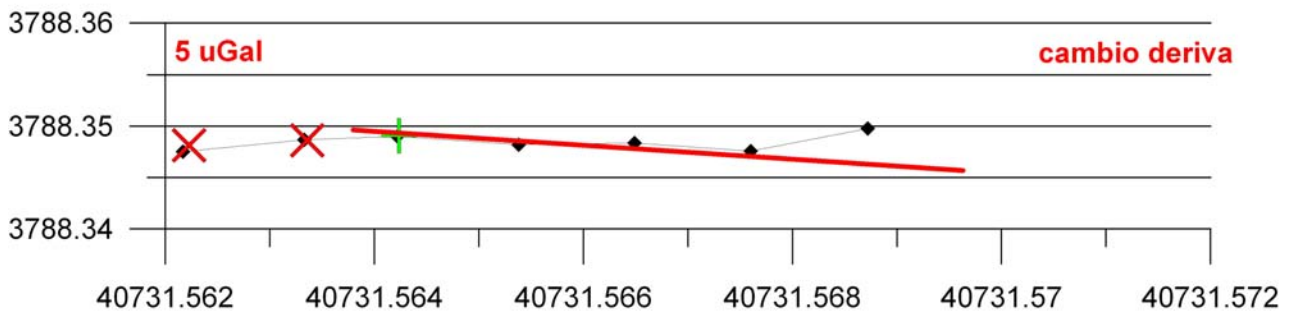
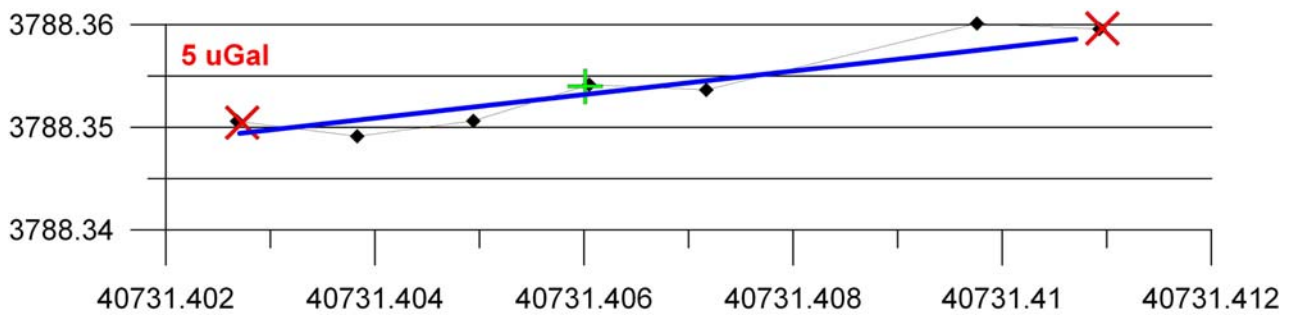
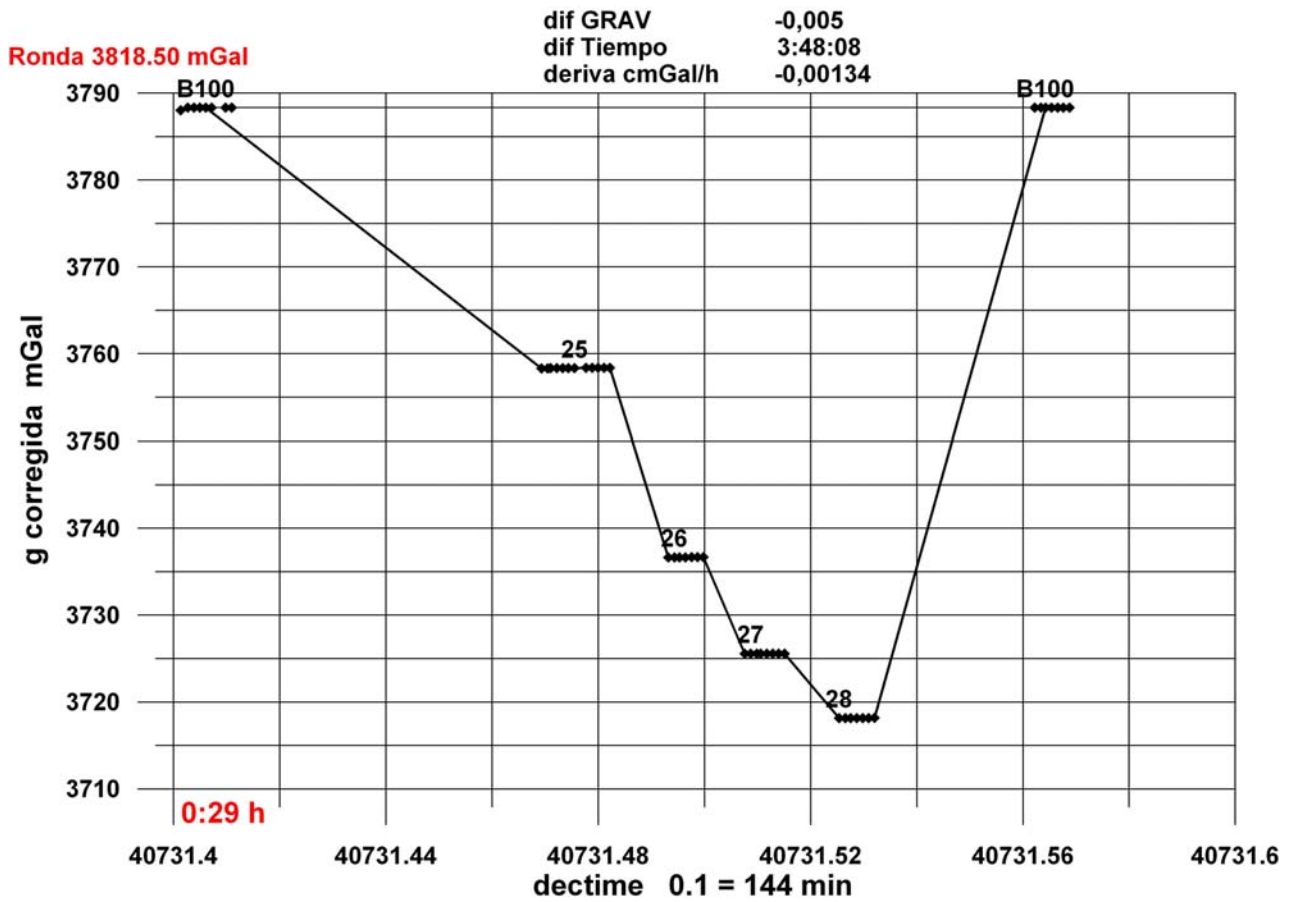


BASE 100 día 8 P7

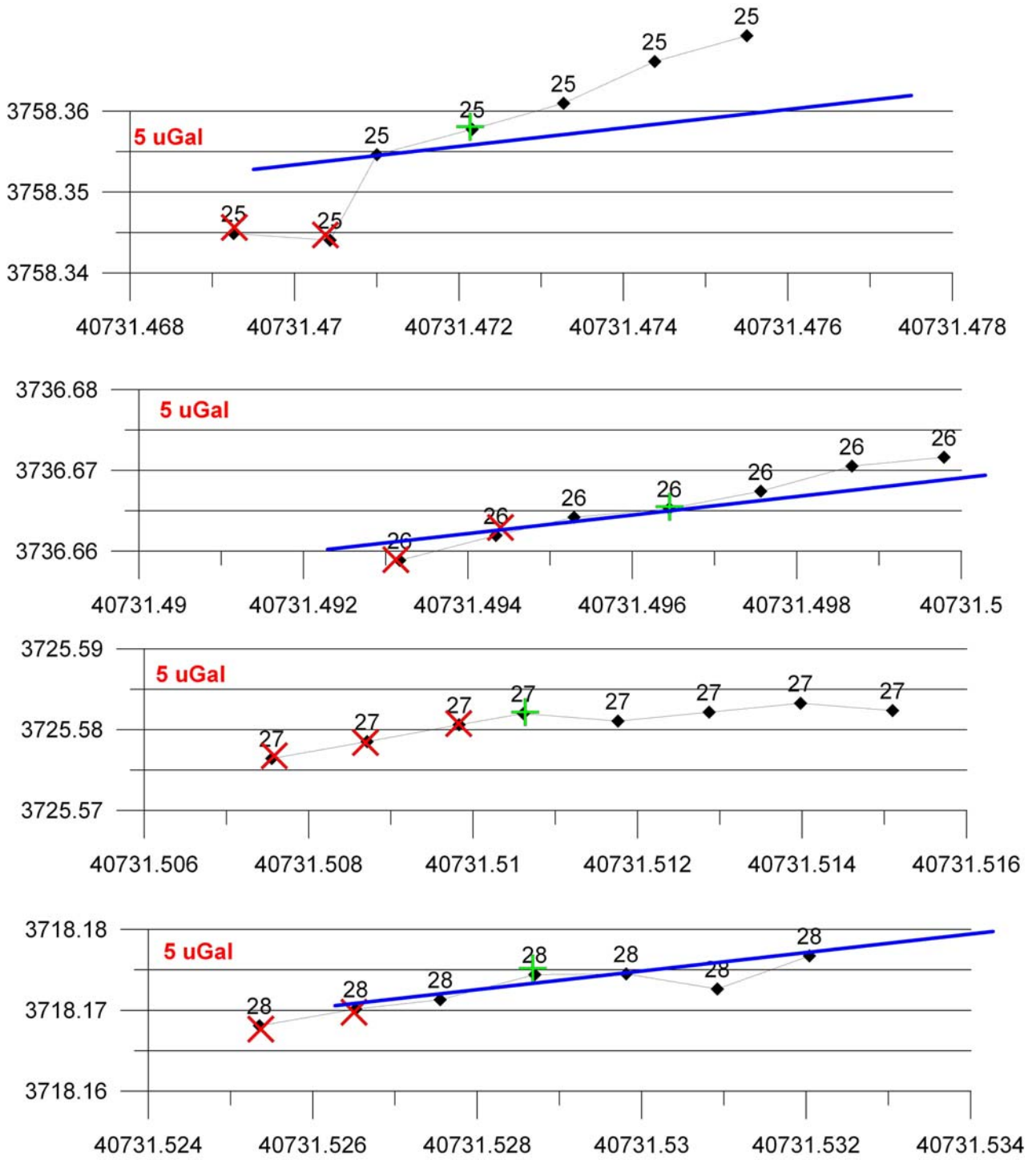




**P8 8 agosto 2011**

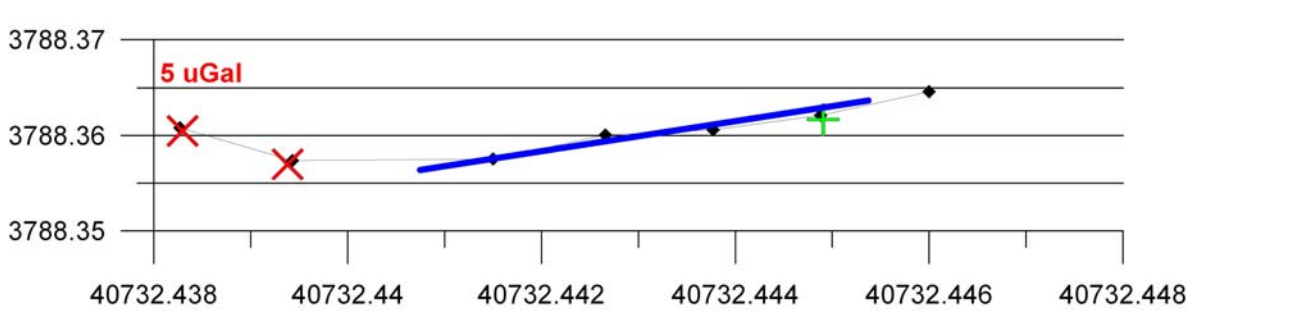
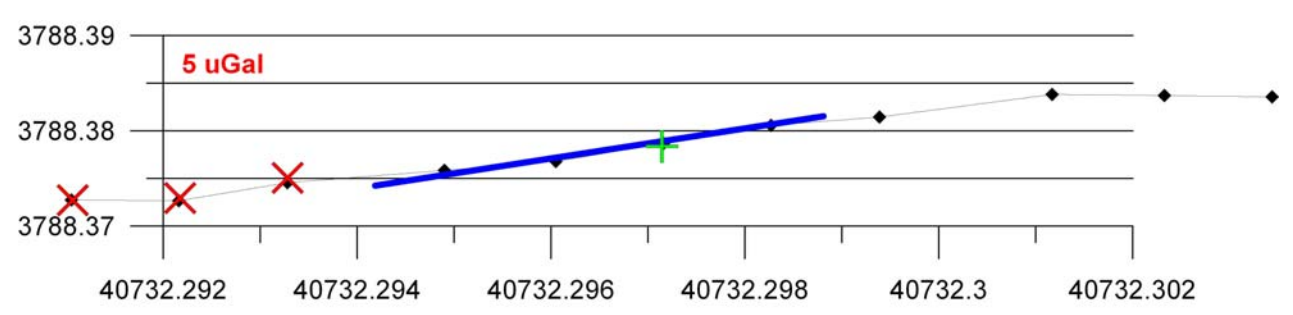
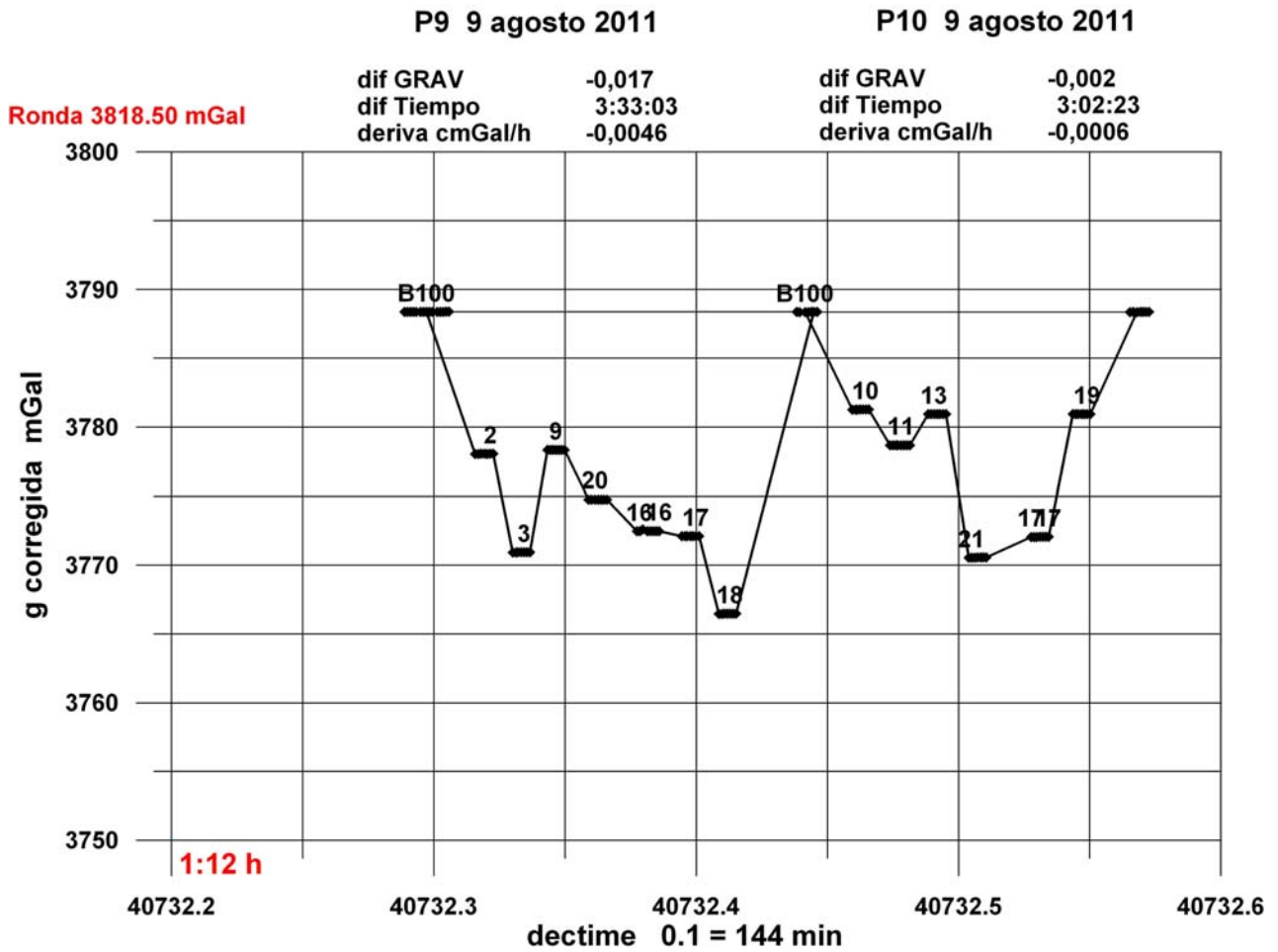


**BASE 100 día 8 P8**

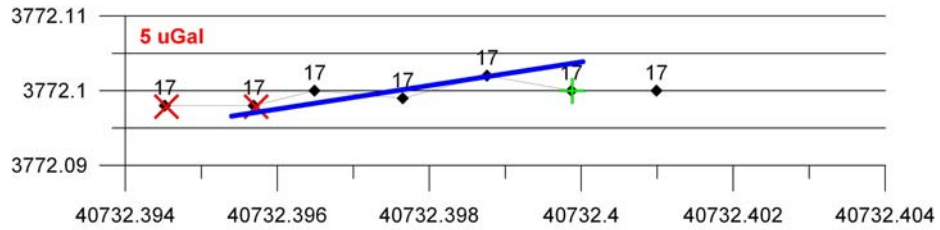
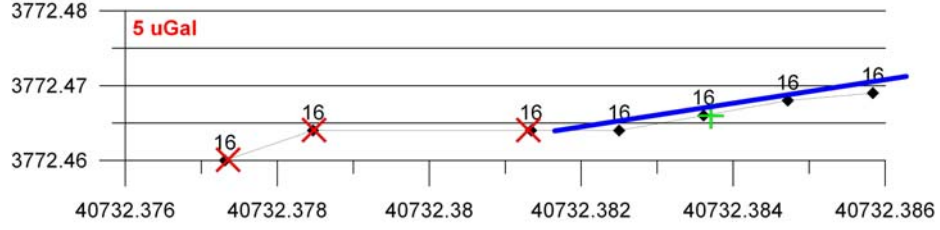
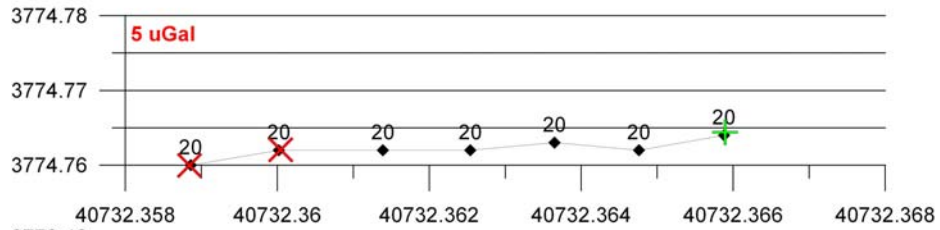
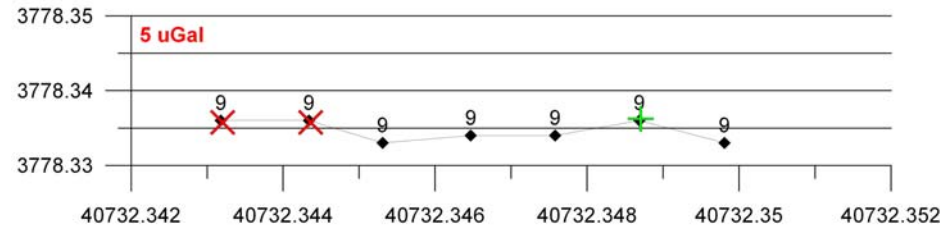
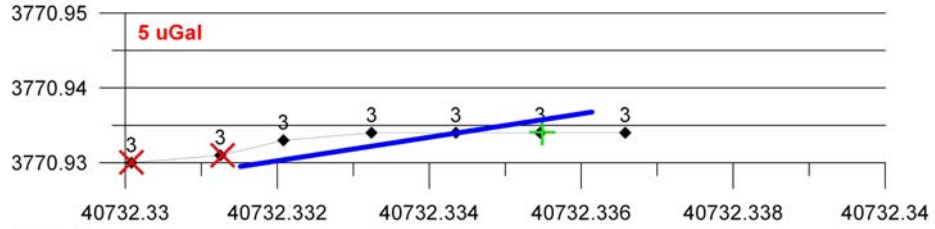
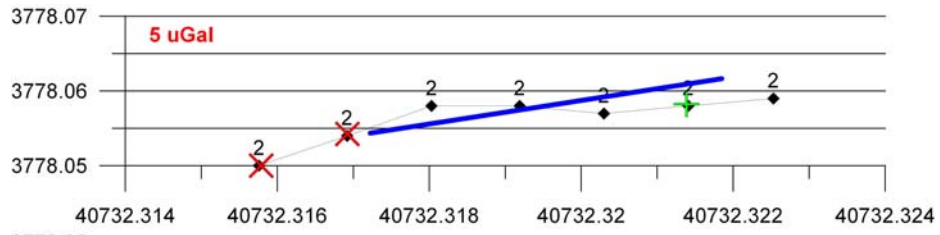


**día 8 P8**

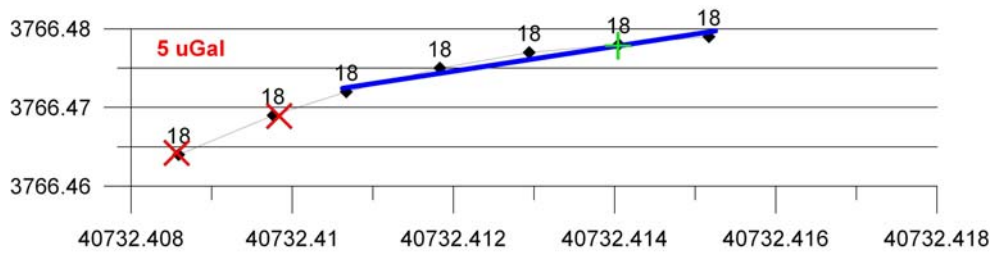




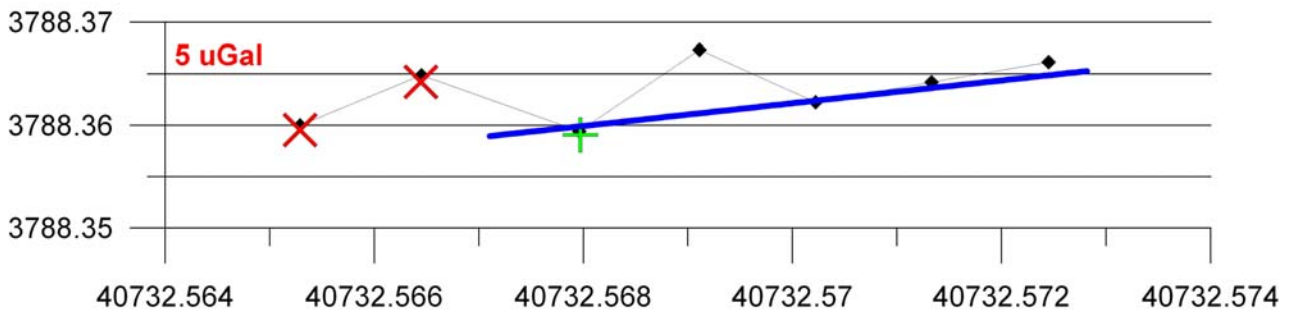
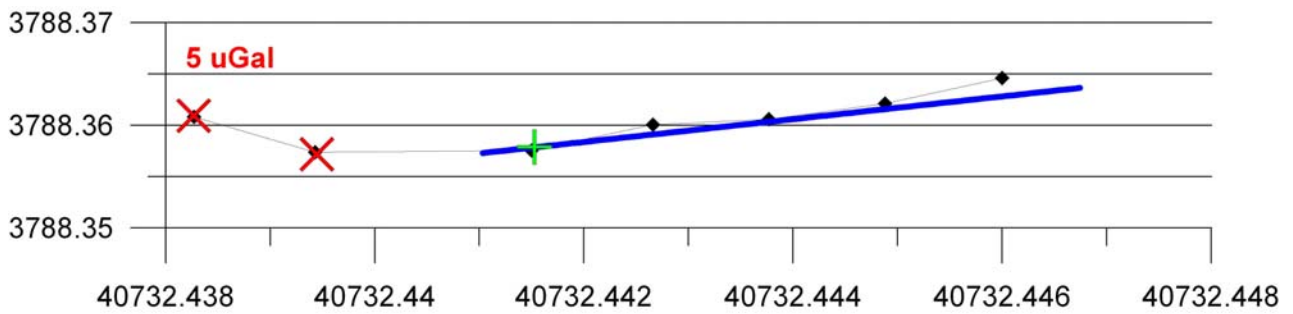
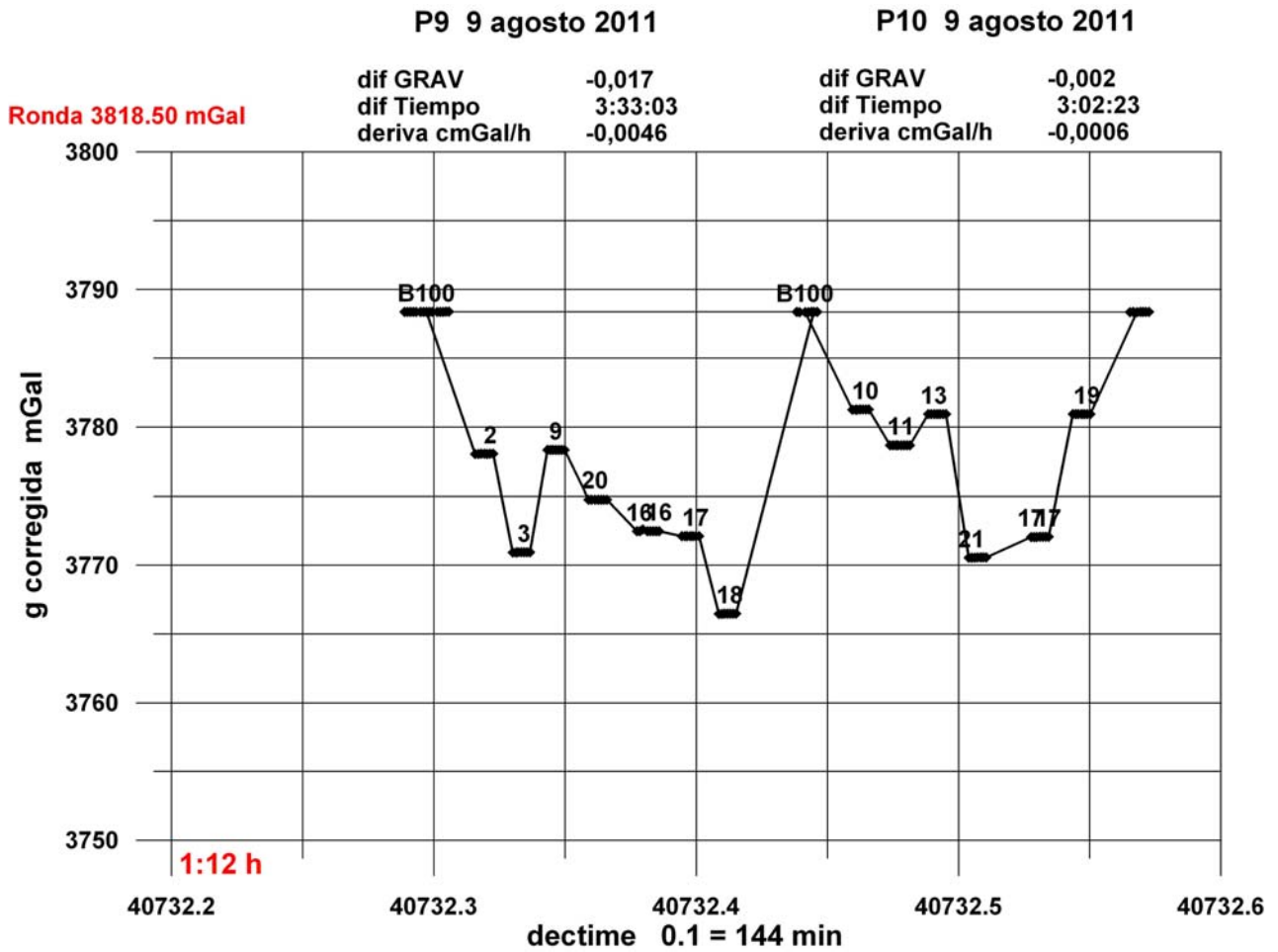
**BASE 100 día 9 P9**



día 9 P9

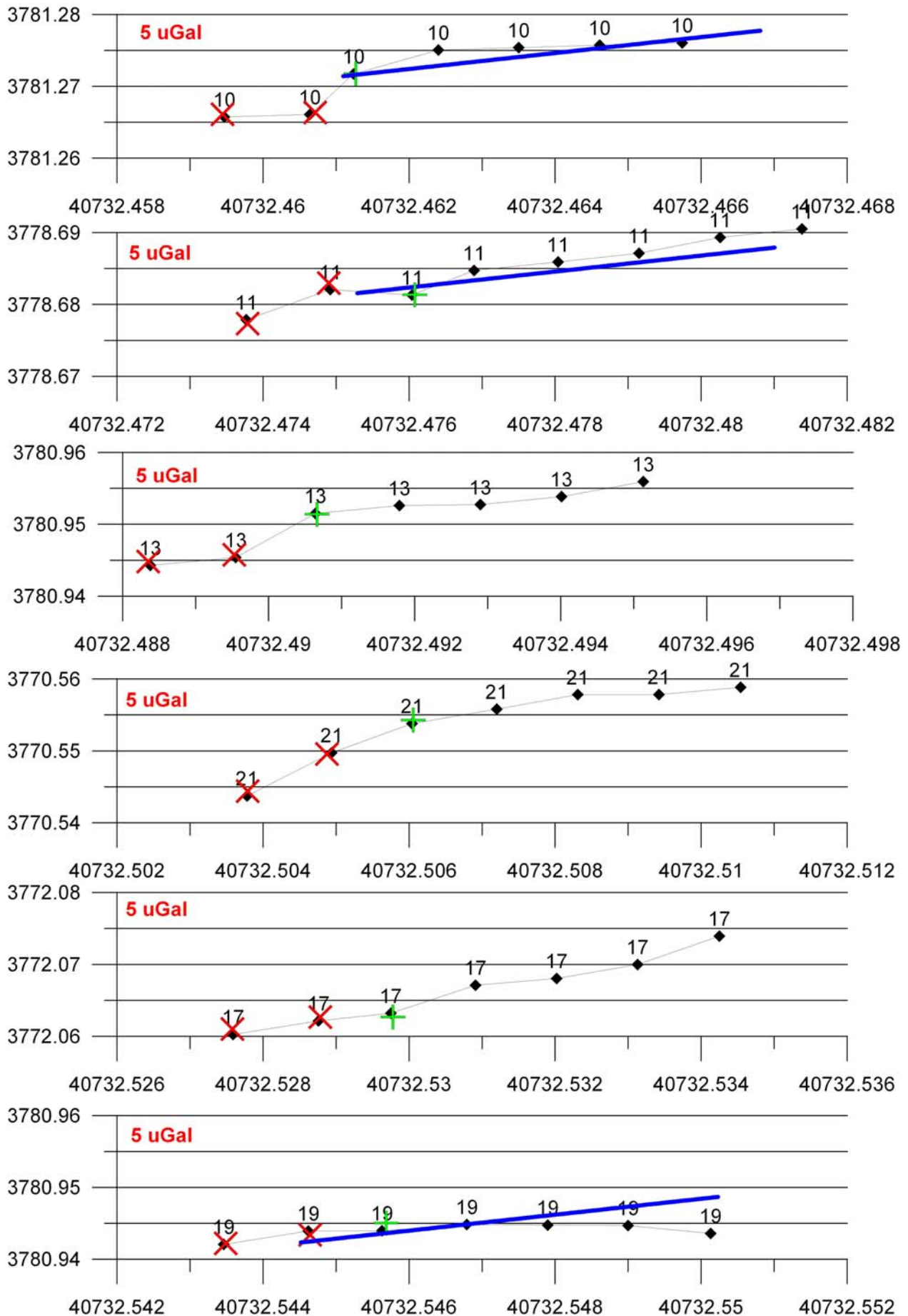


día 9 P9



**BASE 100 día 9 P10**



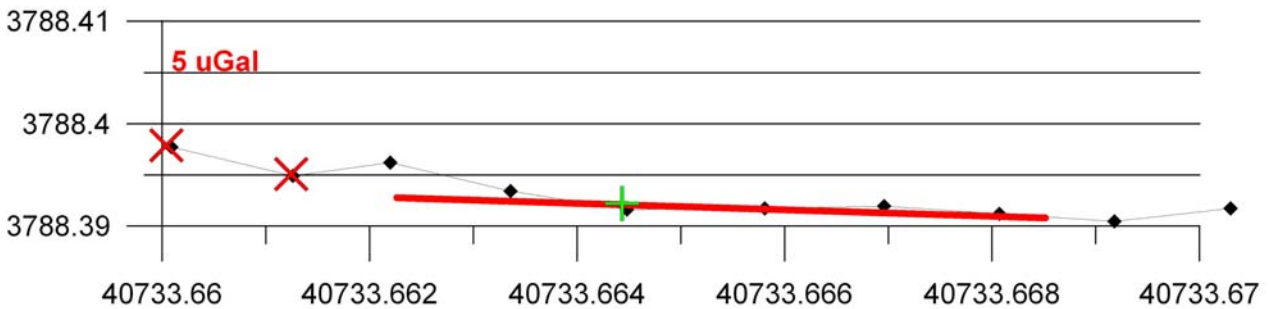
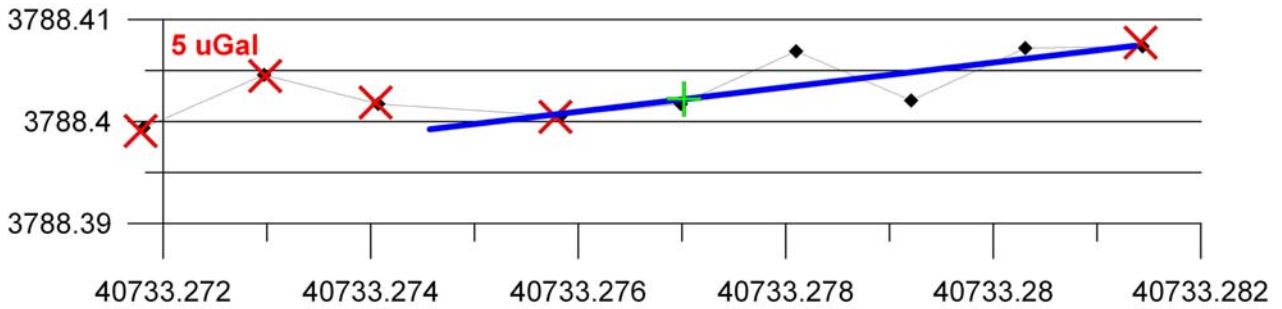
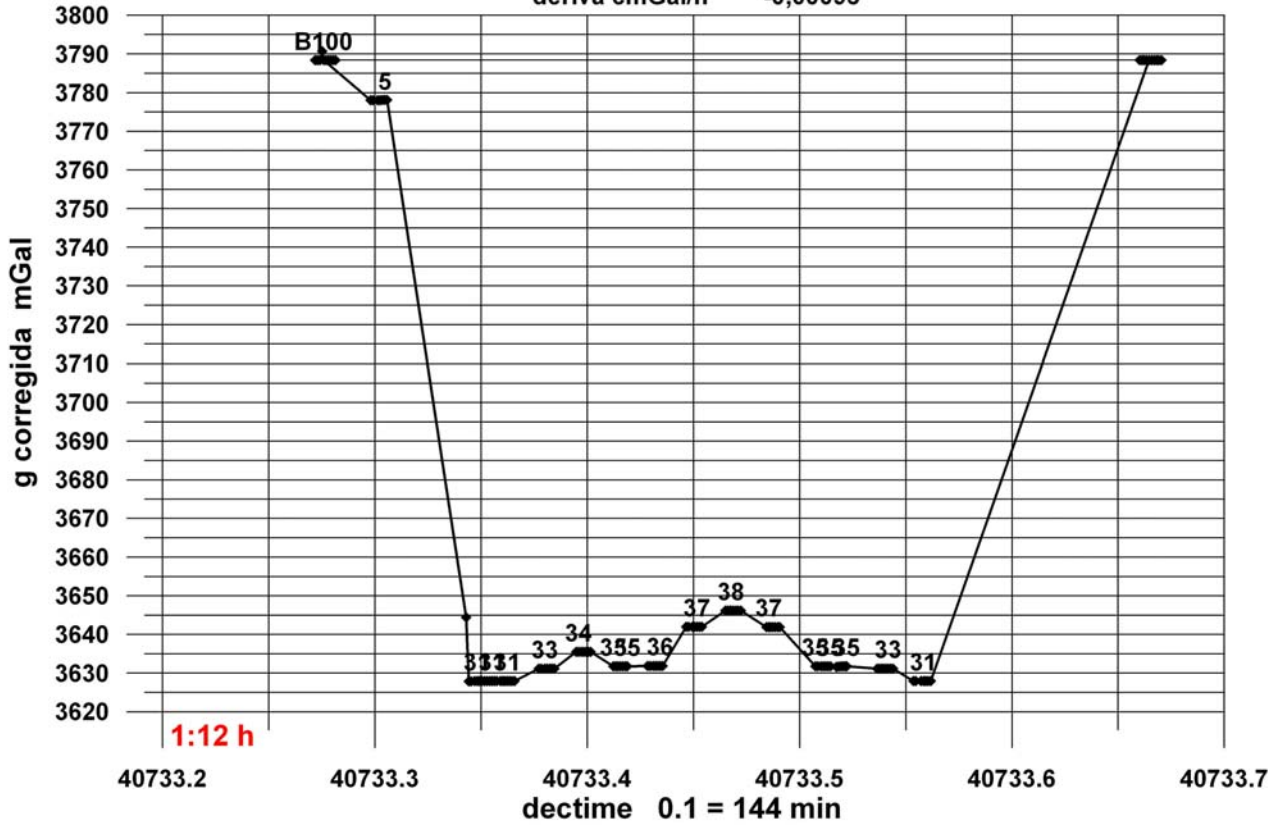


**día 9 P10**

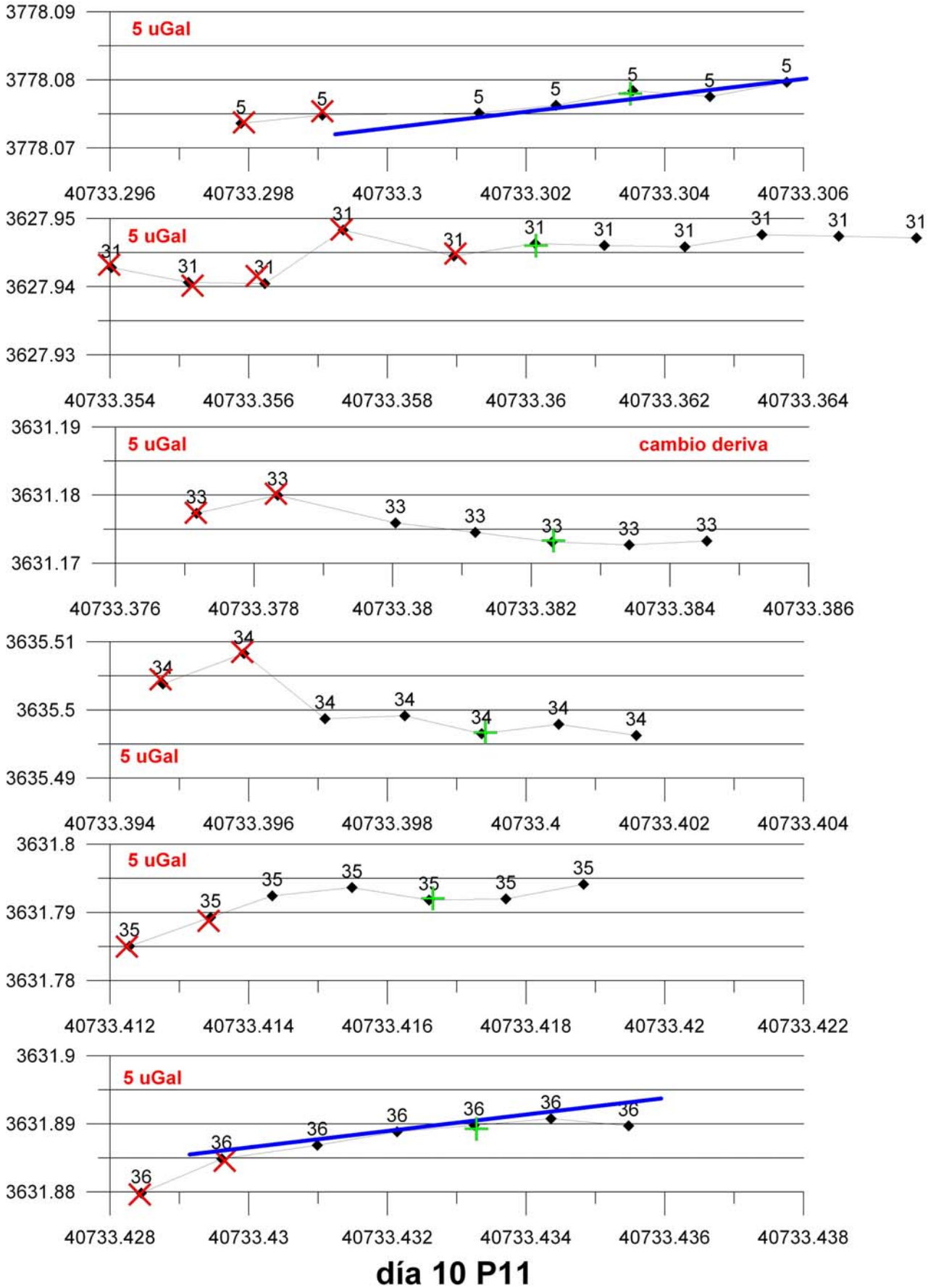
P11 10 agosto 2011

dif GRAV -0,009  
 dif Tiempo 9:20:33  
 deriva cmGal/h -0,00095

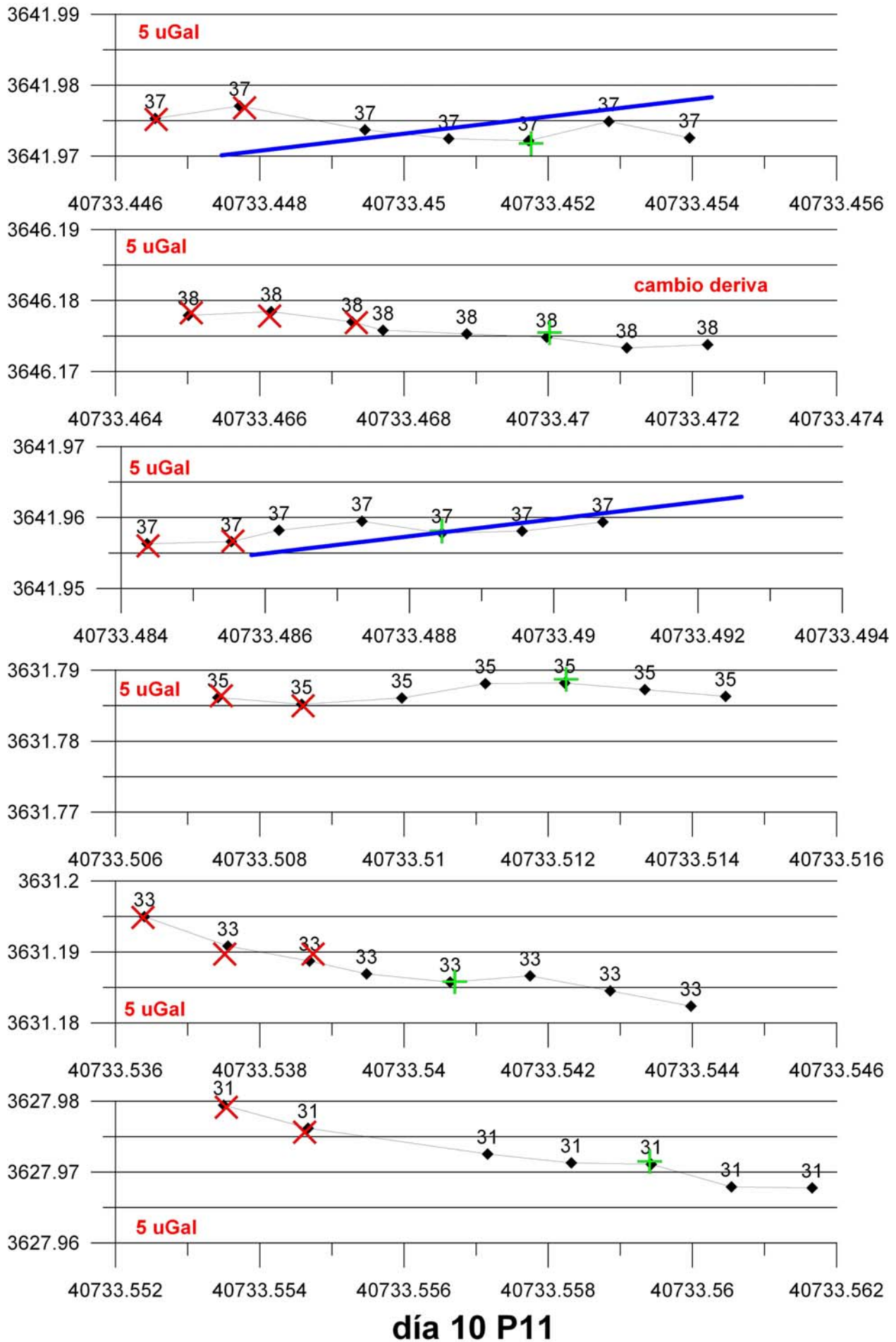
Ronda 3818.50 mGal



BASE 100 día 10 P11

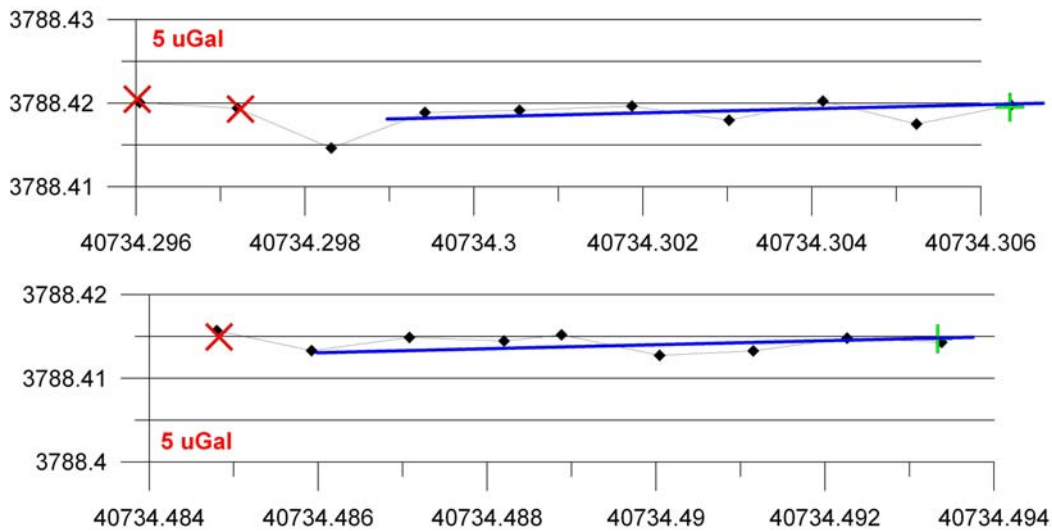
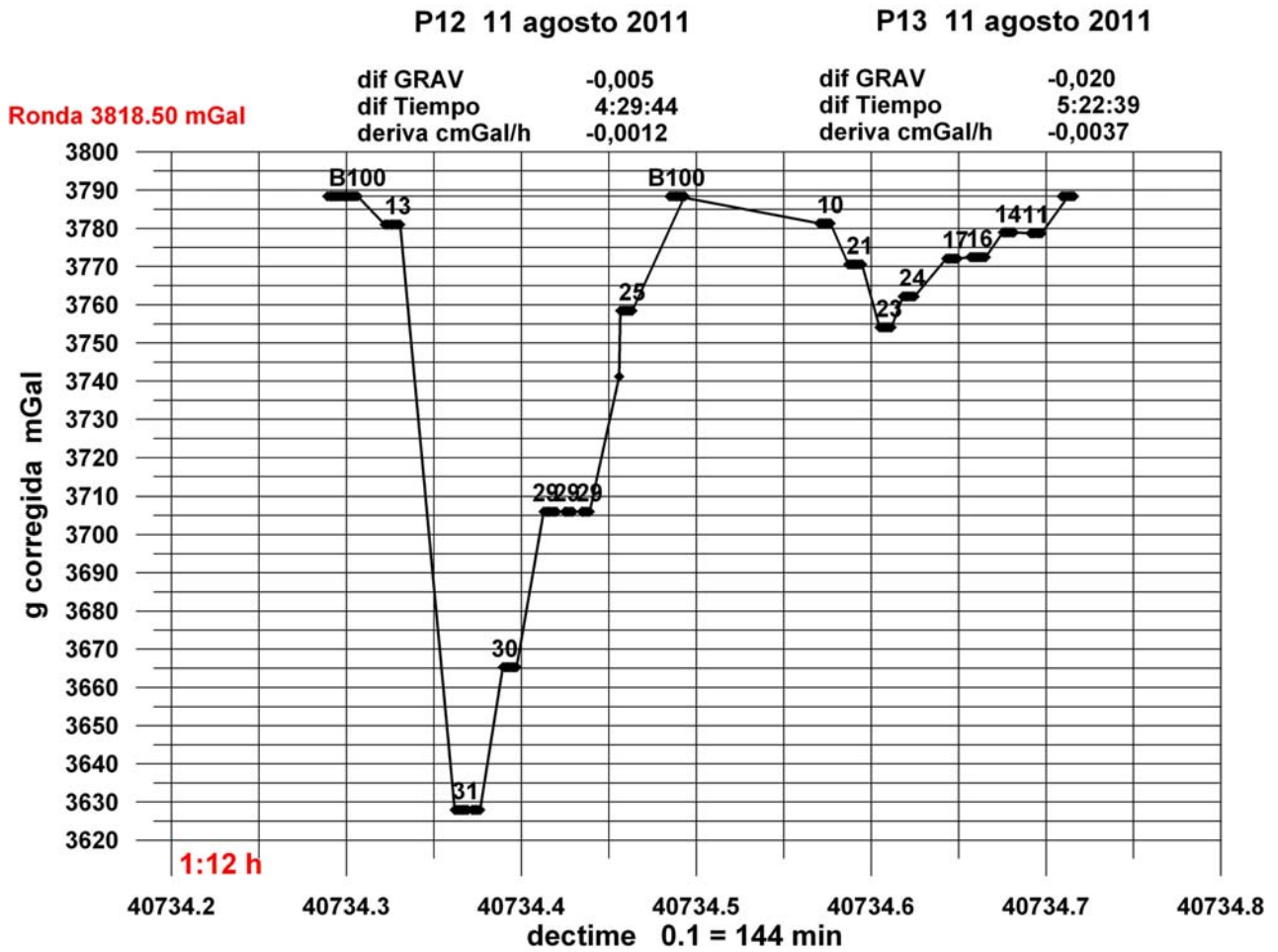




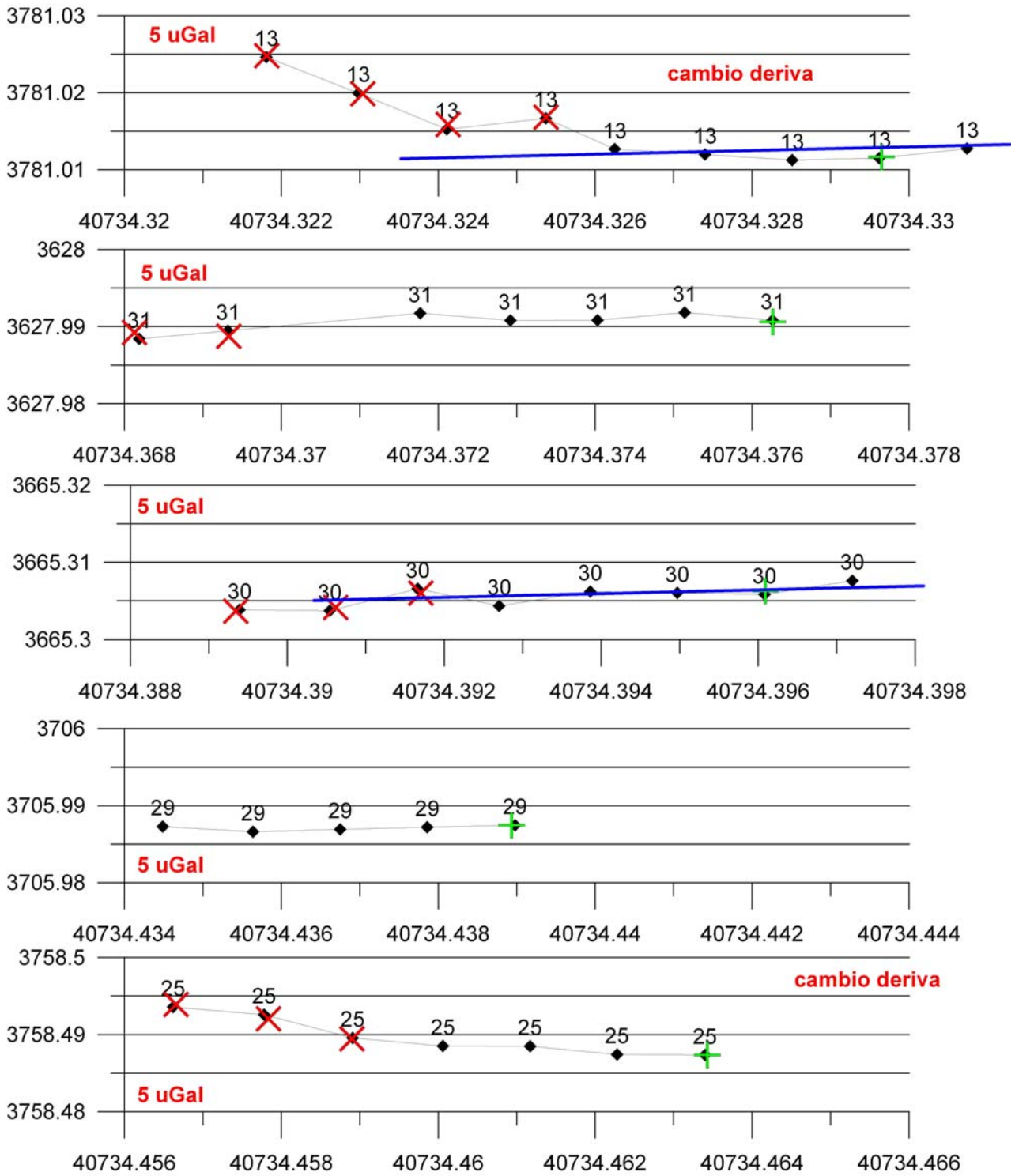


día 10 P11

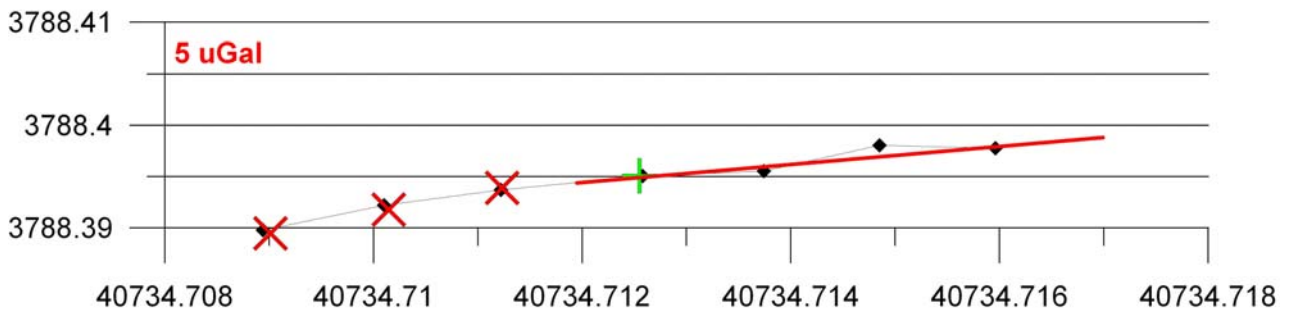
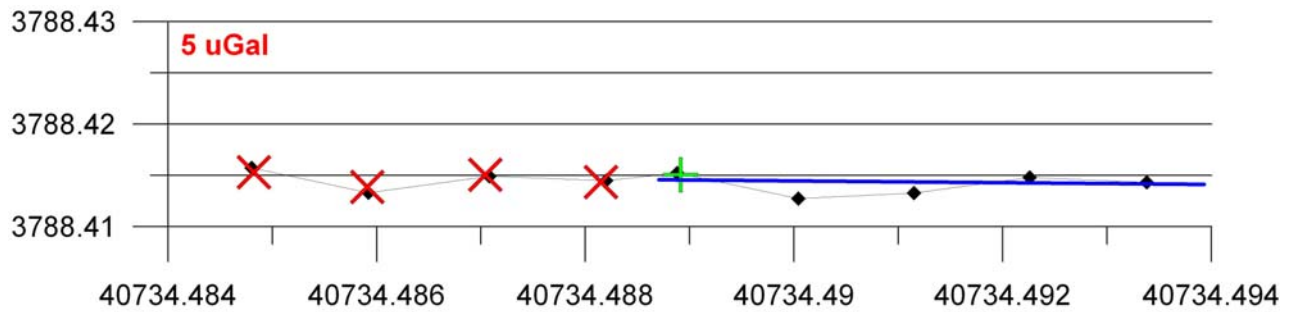
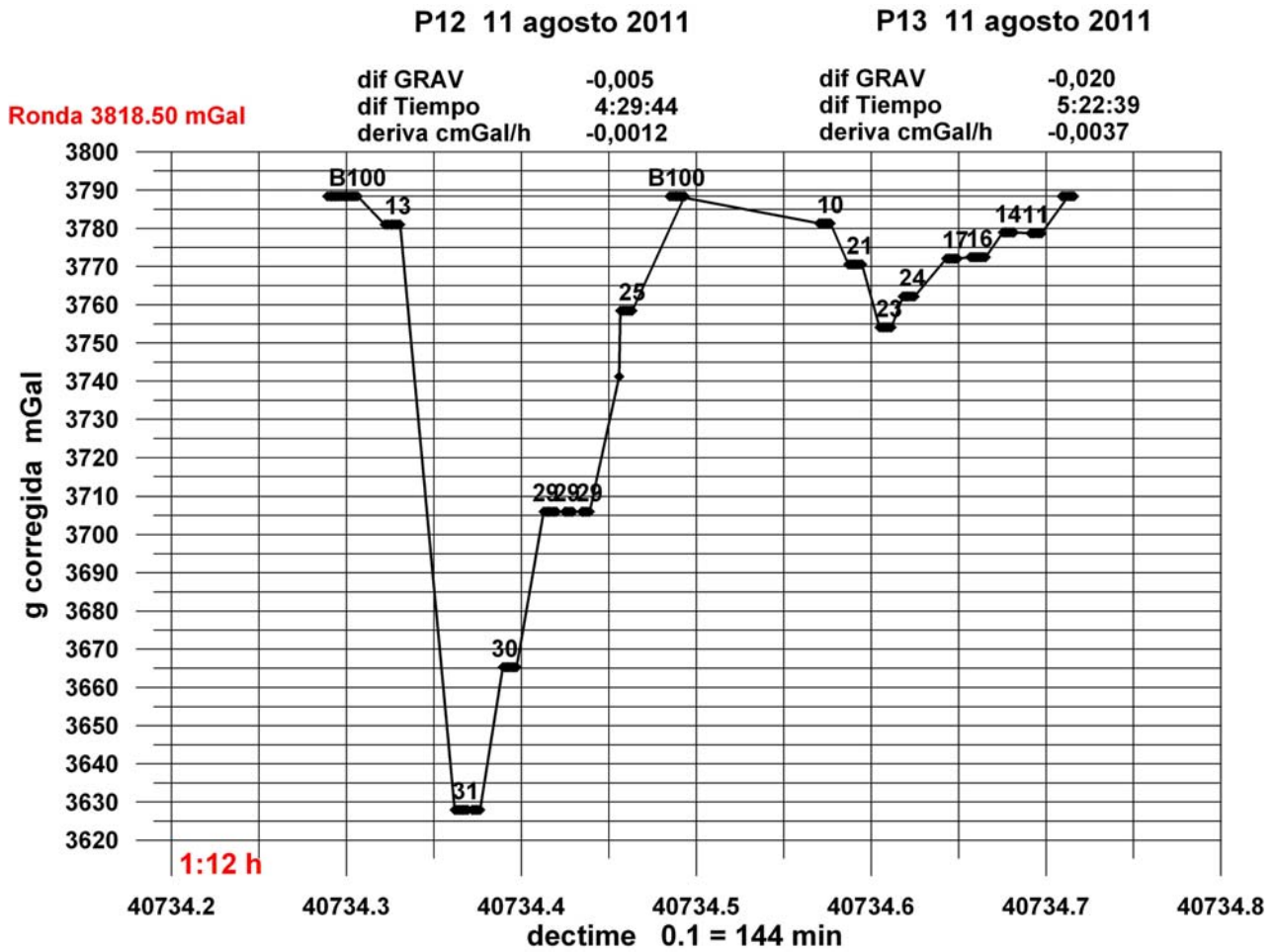
[Página dejada intencionadamente en blanco]



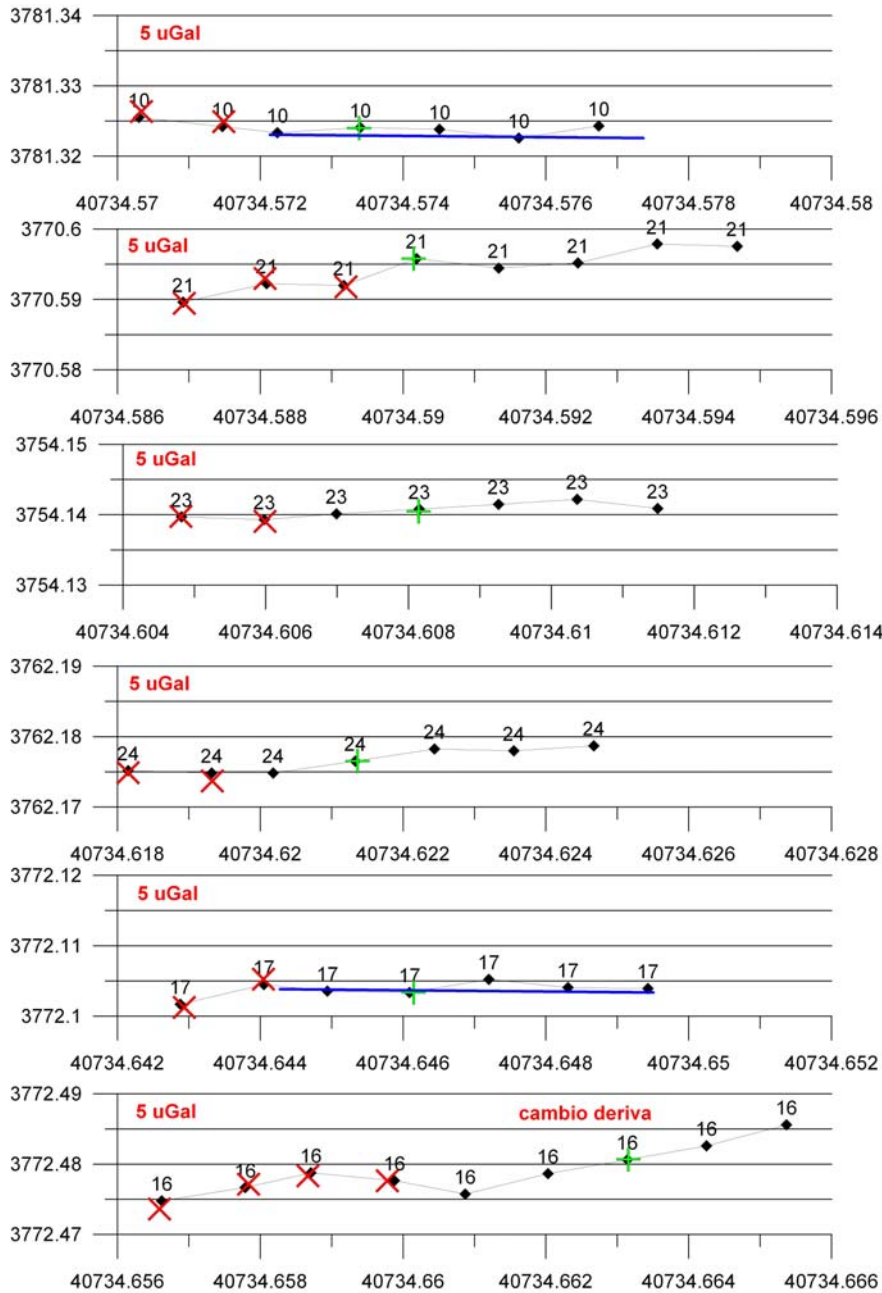




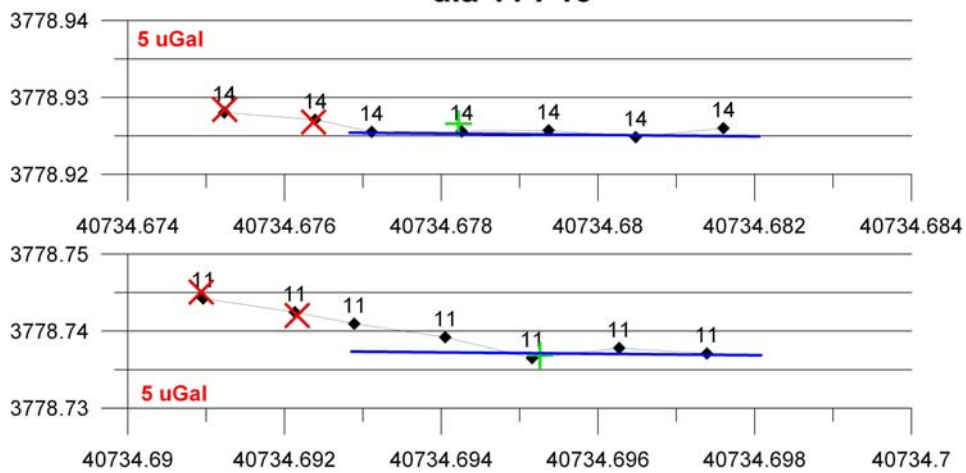
**día 11 P12**



**BASE 100 día 11 P13**

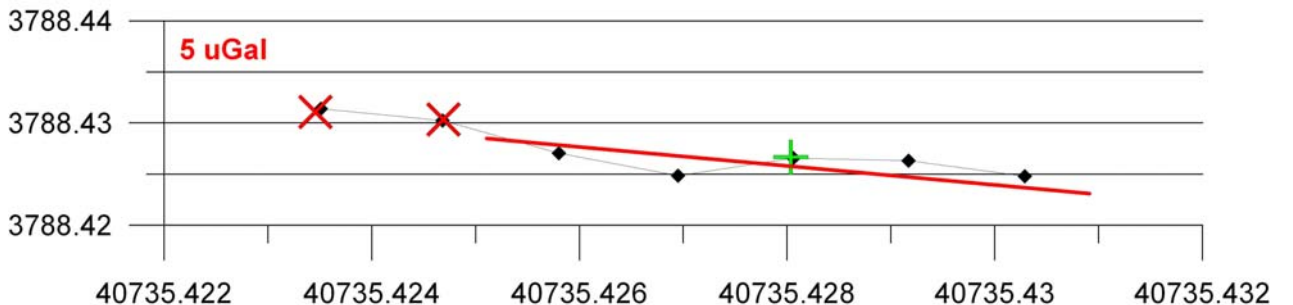
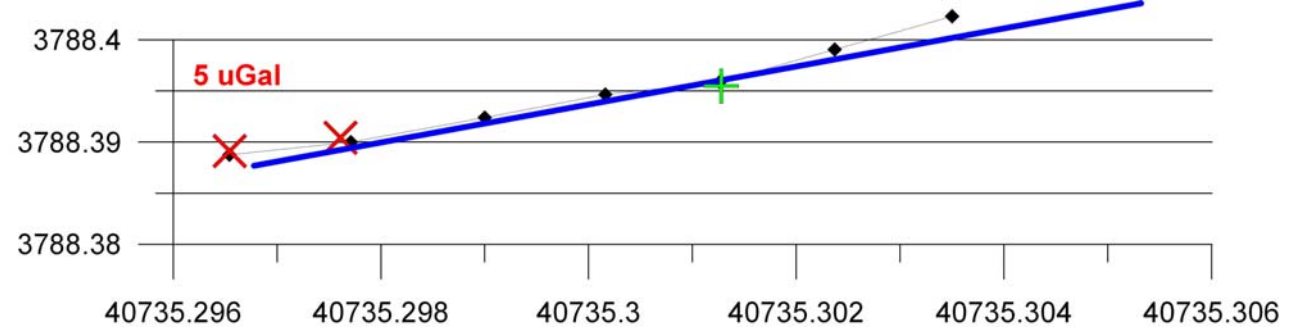
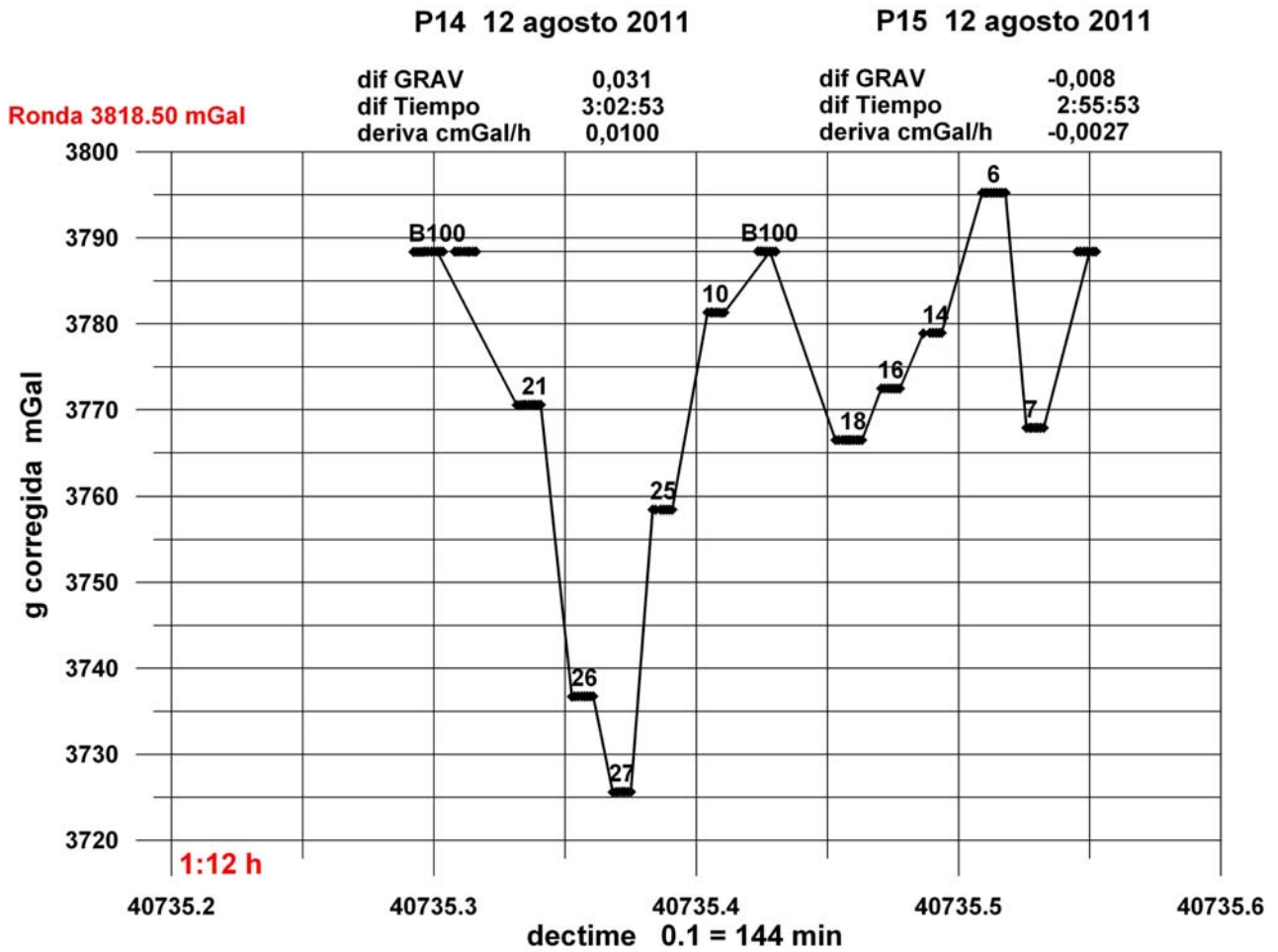


día 11 P13

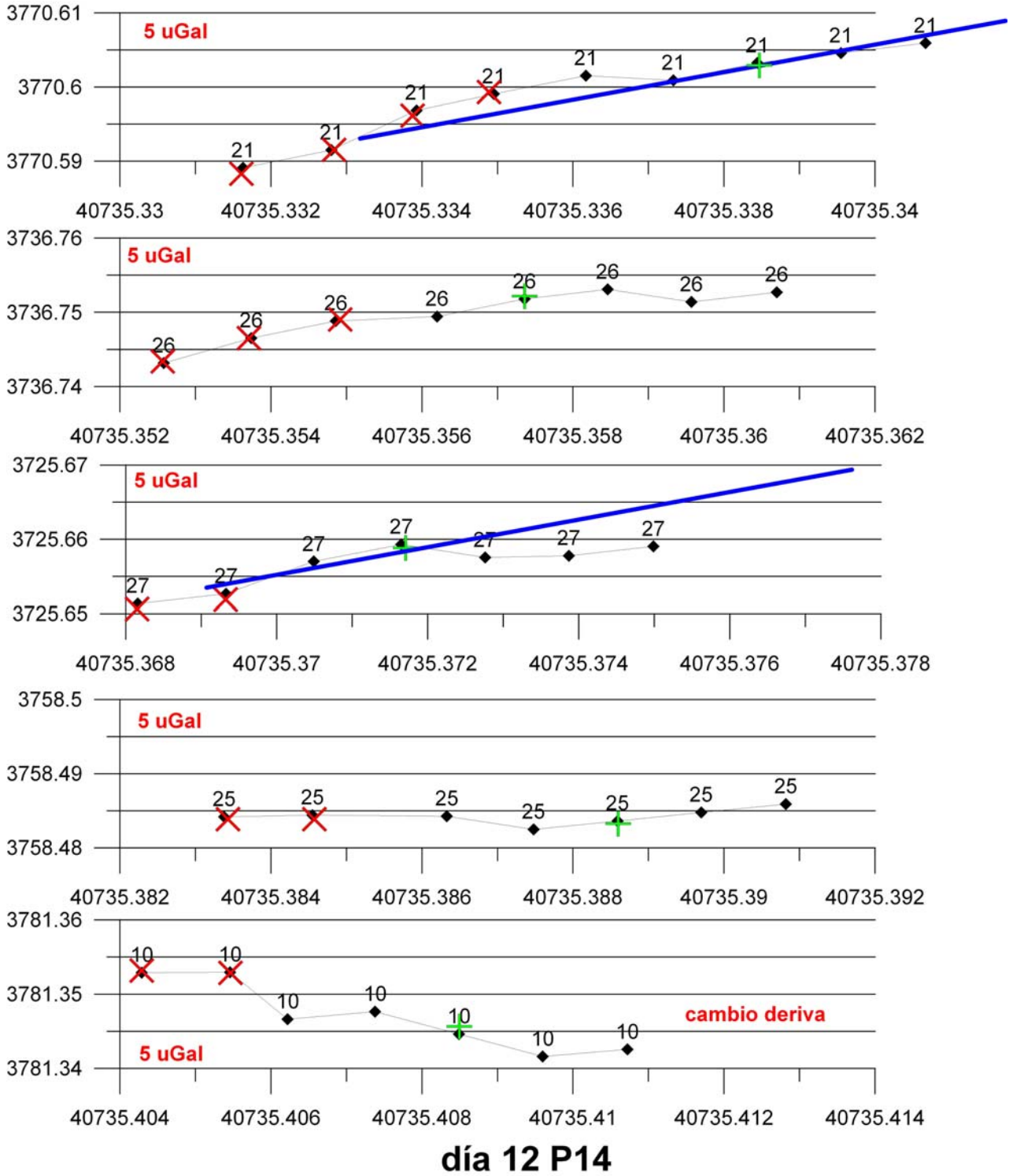


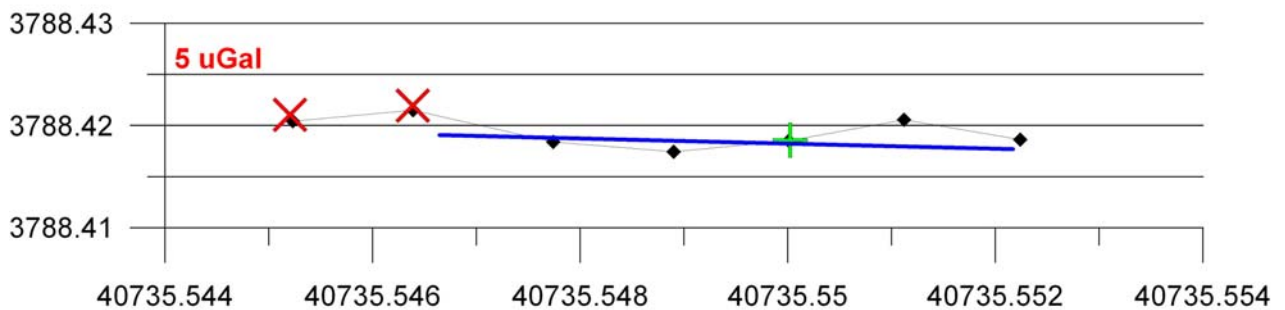
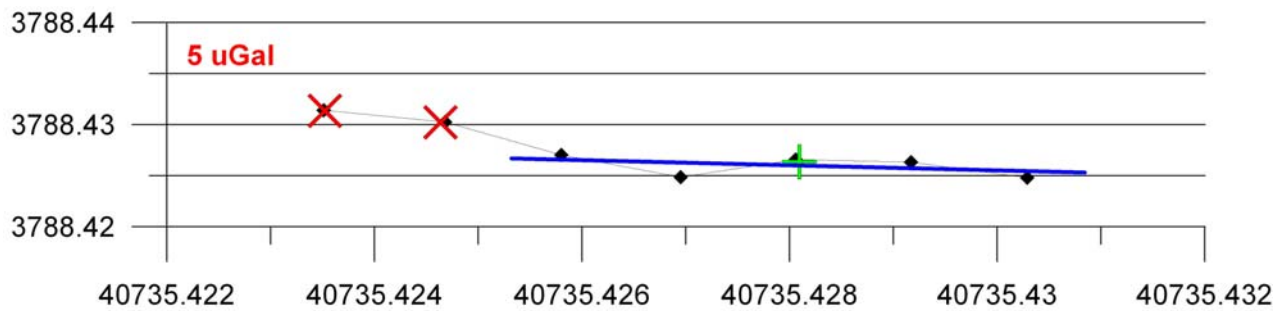
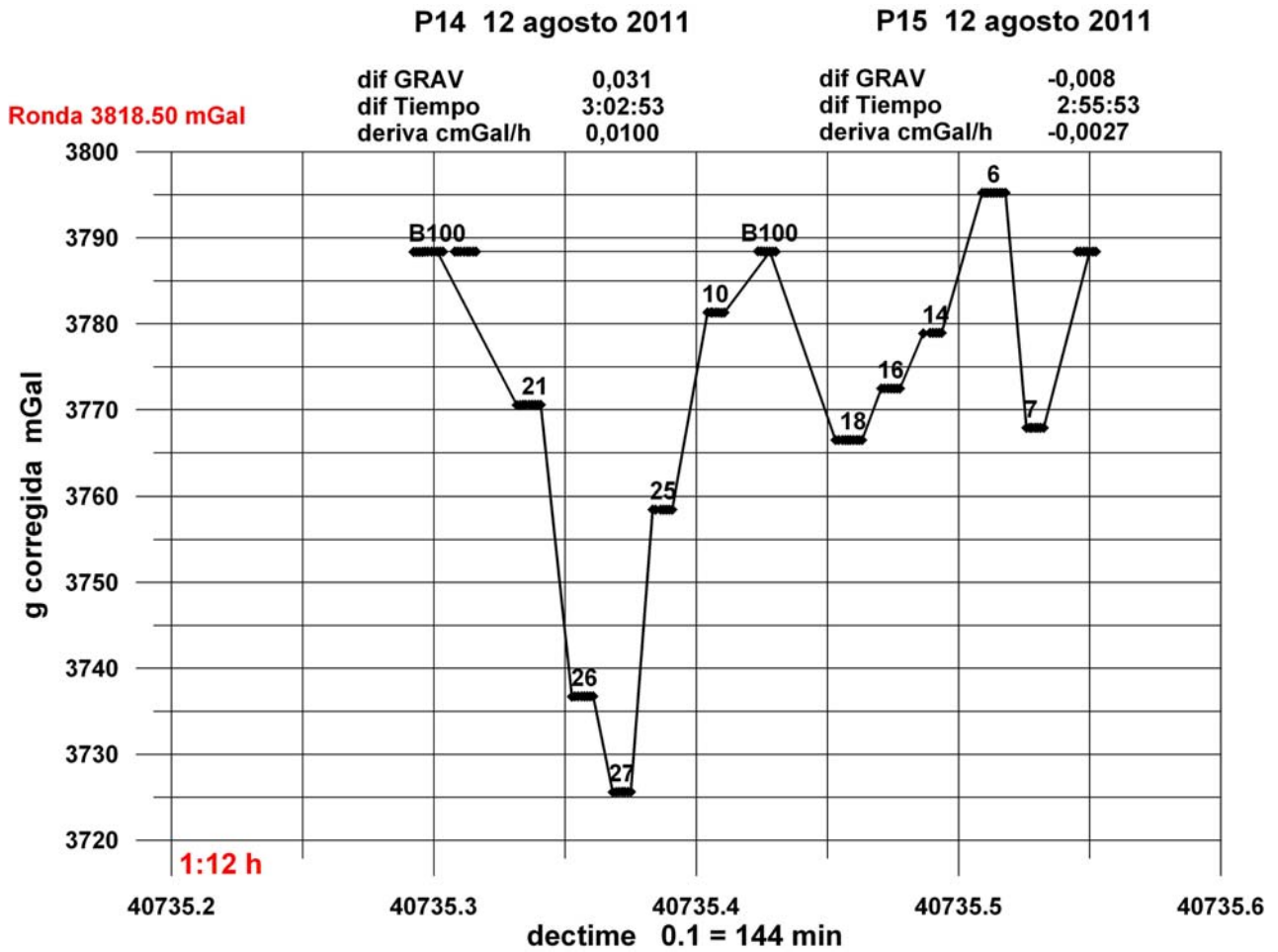
día 11 P13





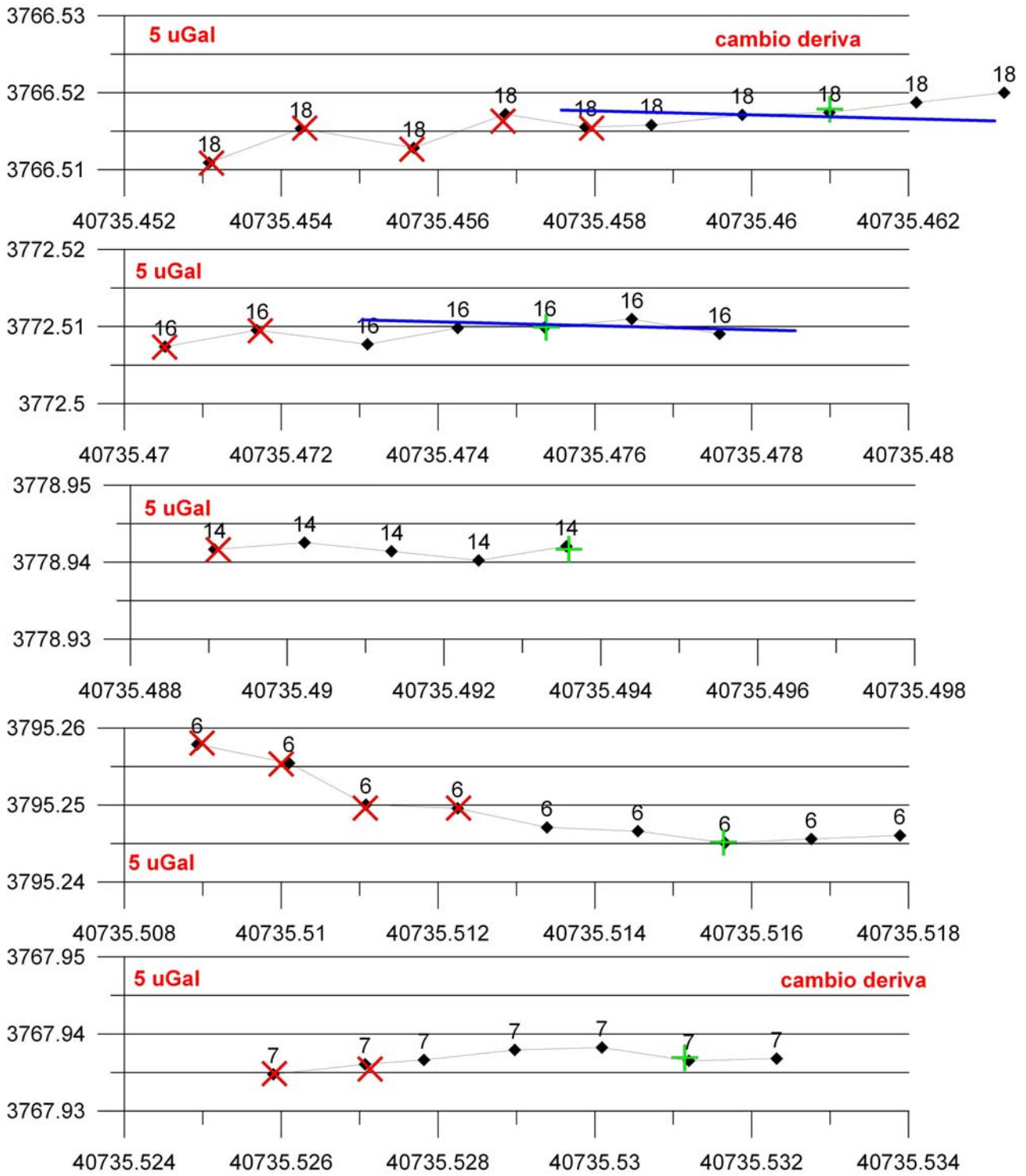
**BASE 100 día 12 P14**



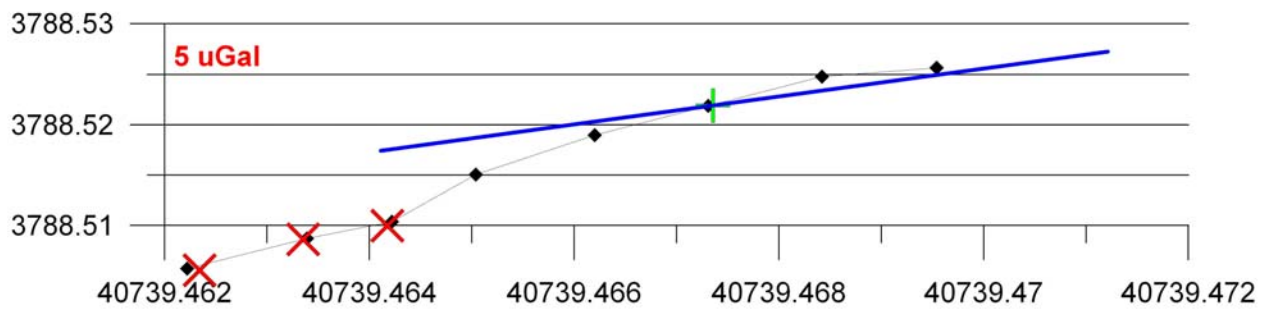
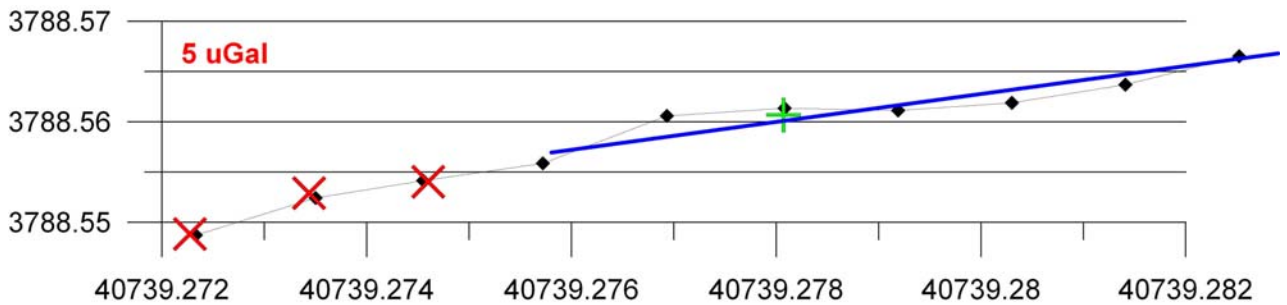
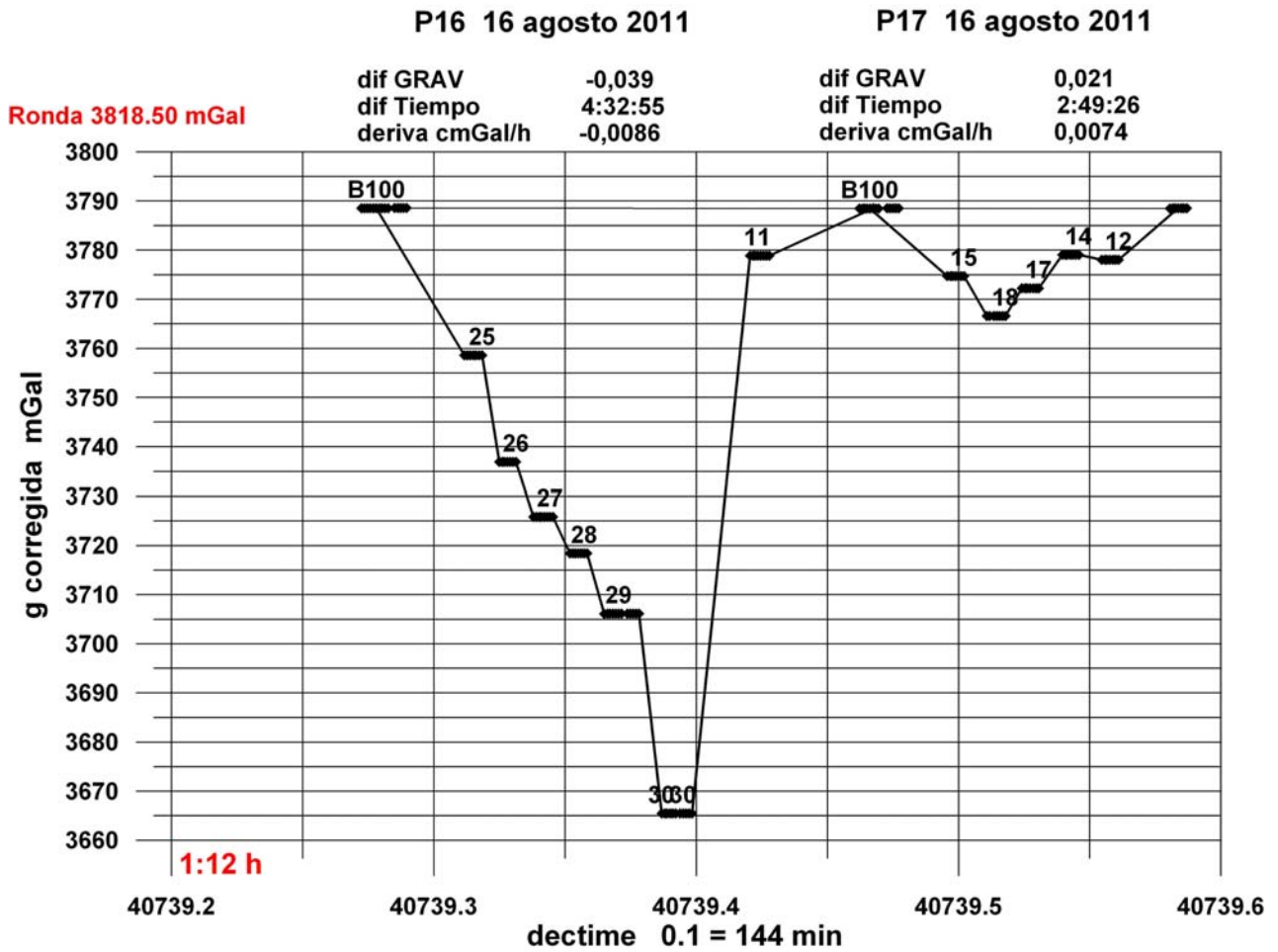


**BASE 100 día 12 P15**

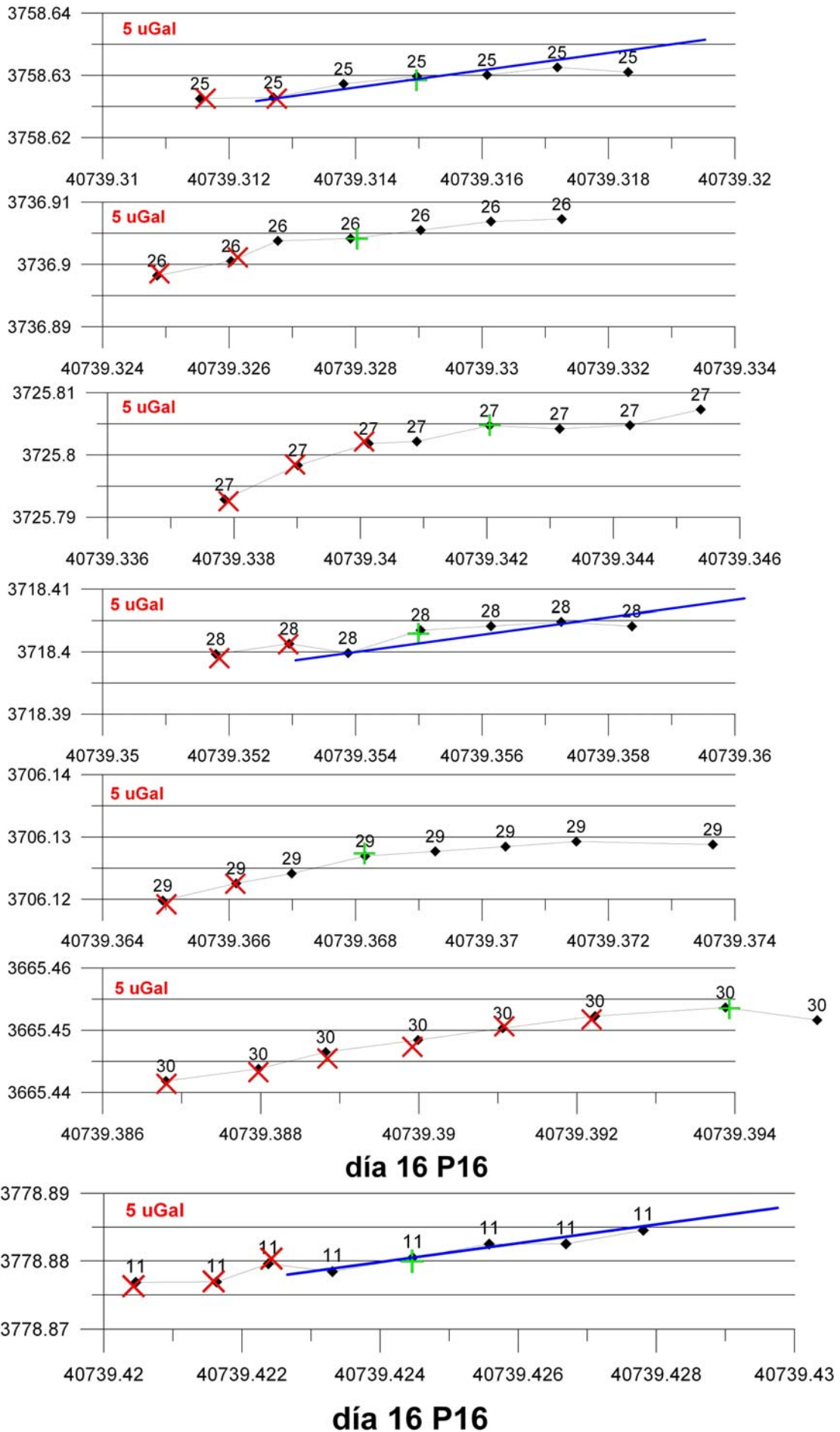




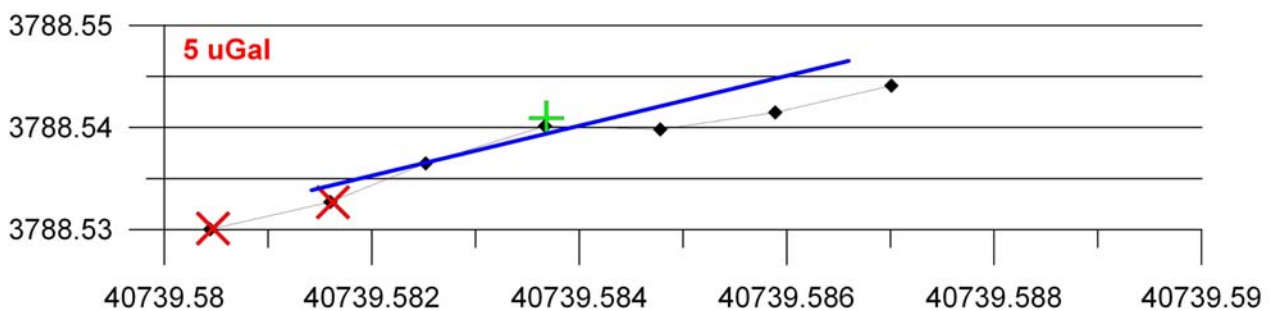
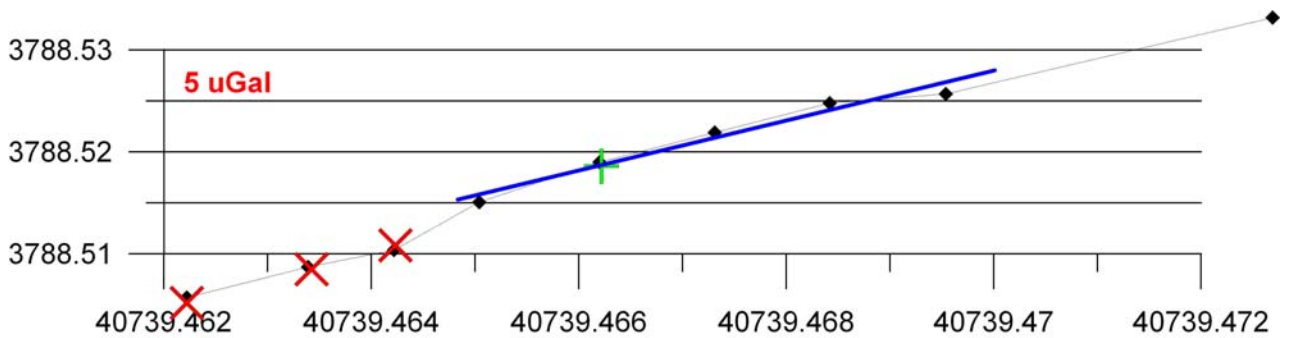
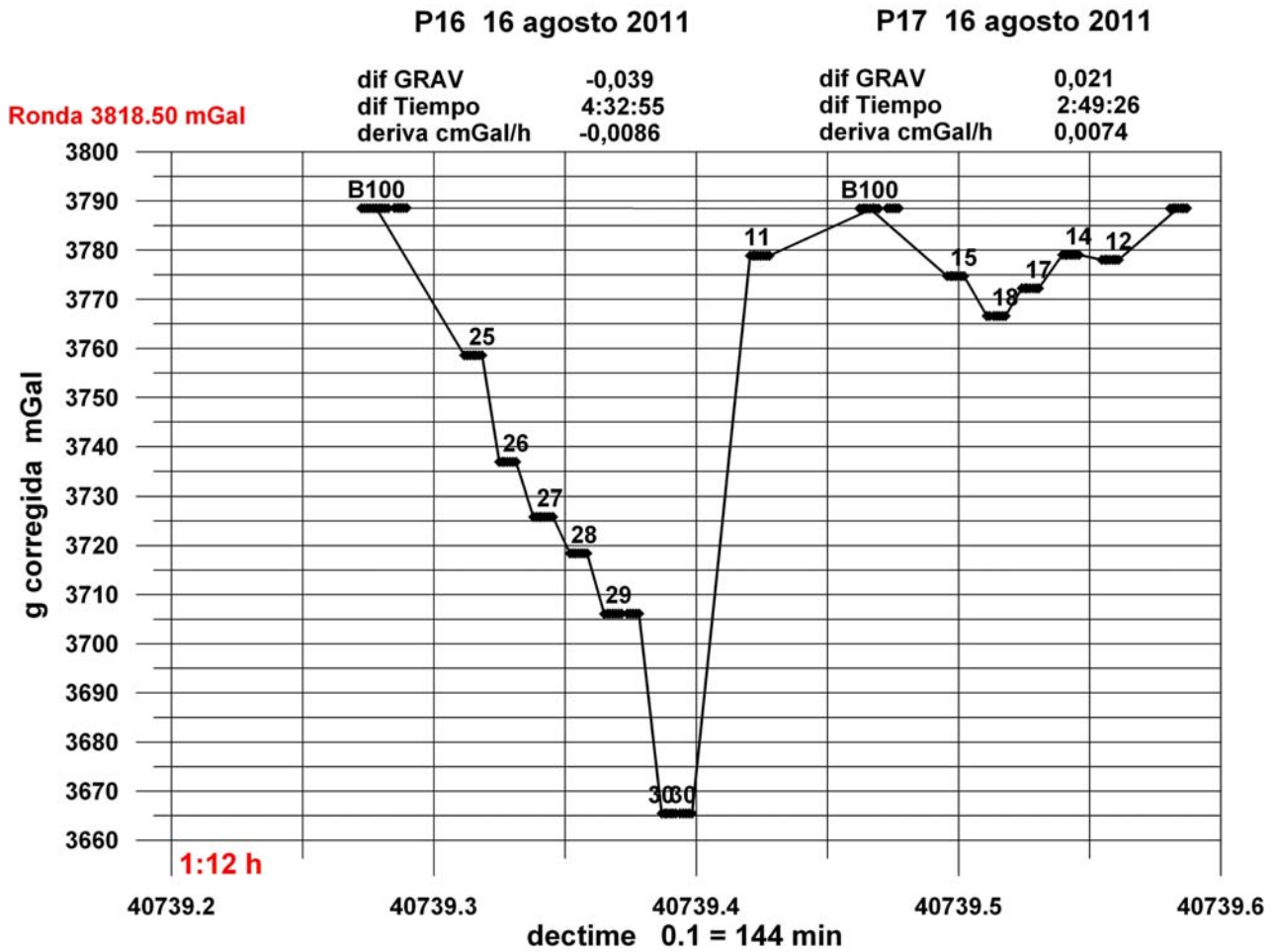
**día 12 P15**



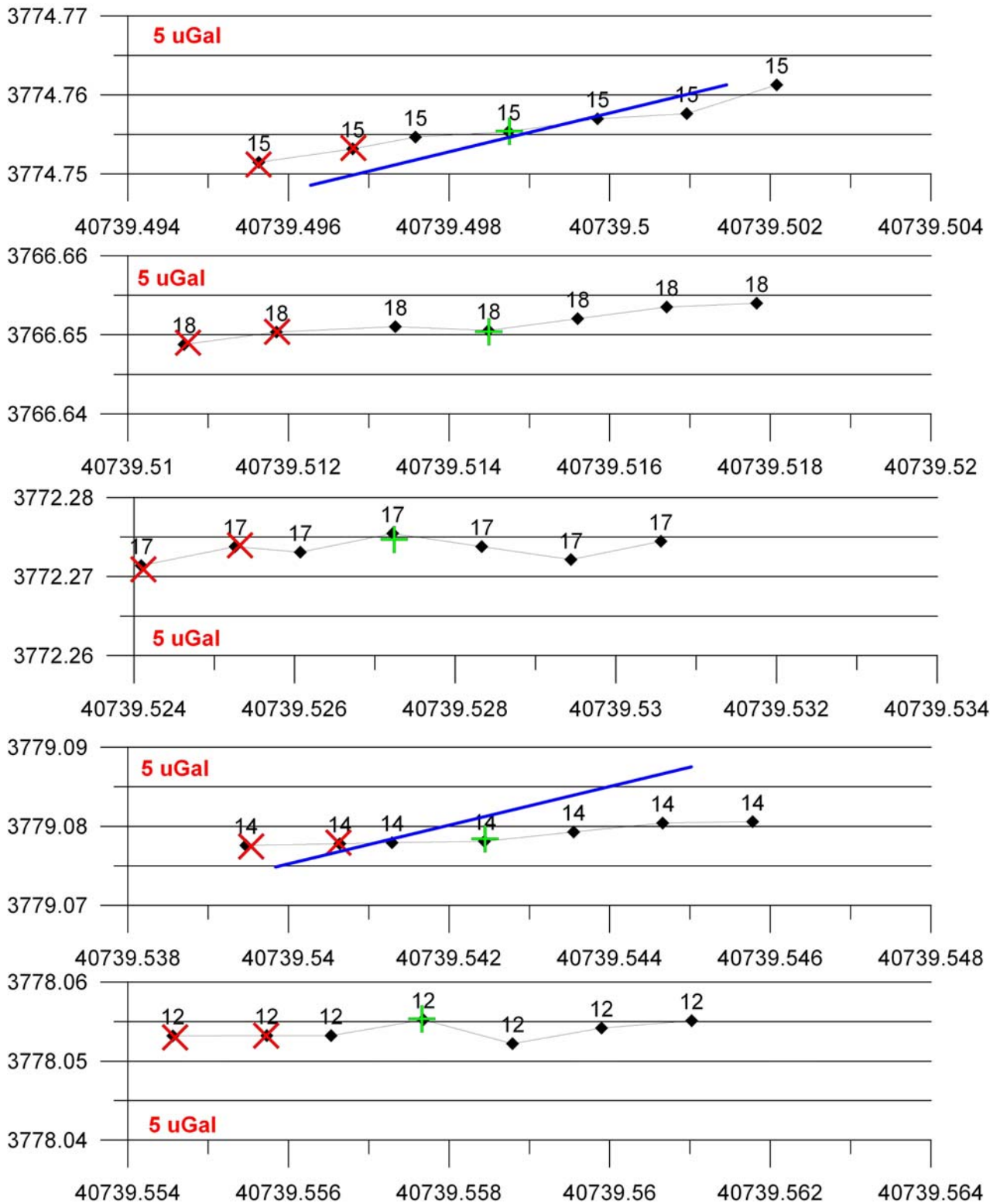
**BASE 100 día 16 P16**







**BASE 100 día 16 P17**

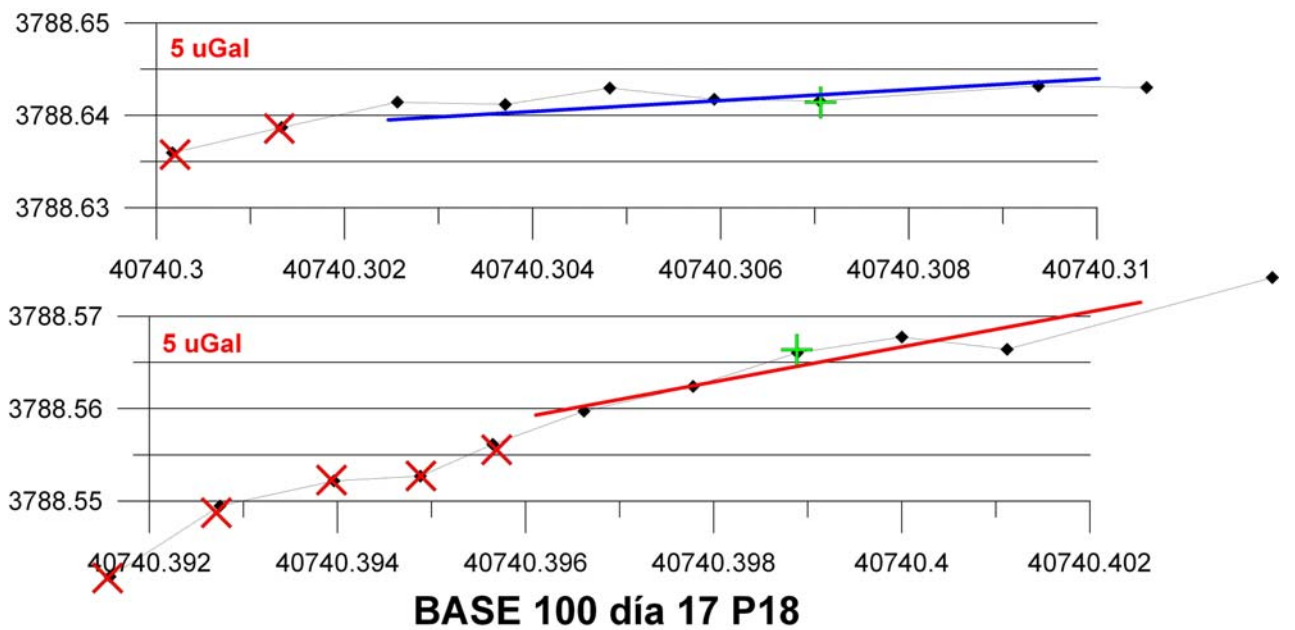
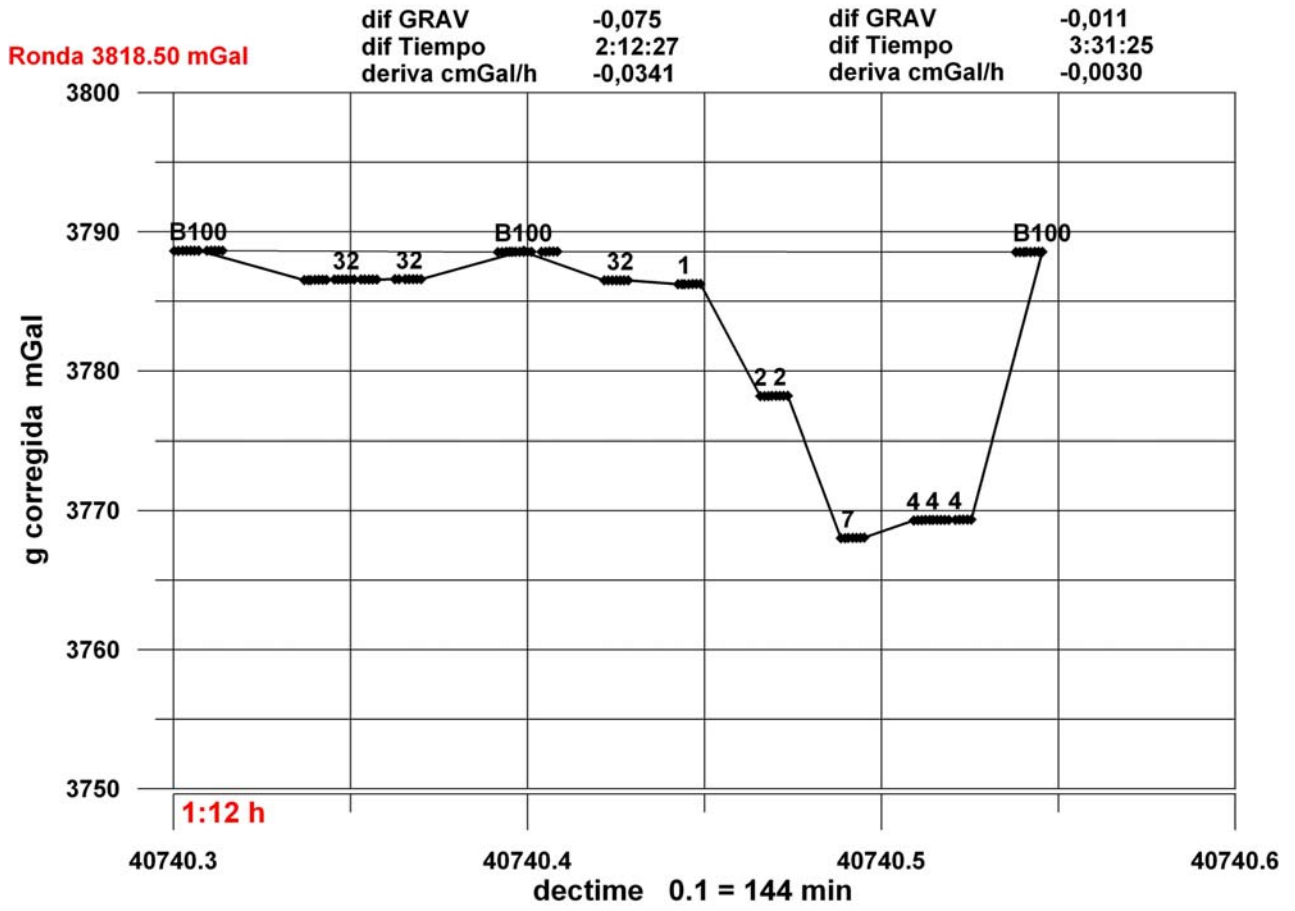


**día 16 P17**

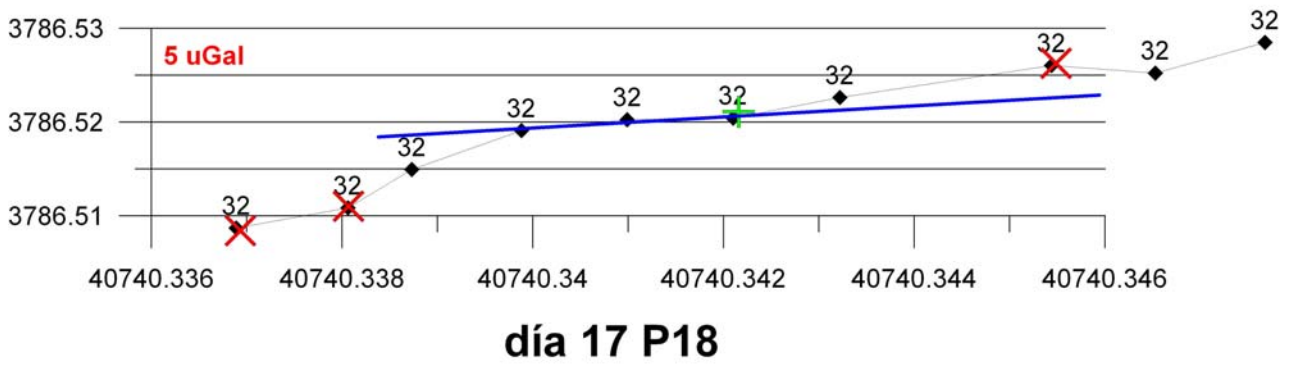
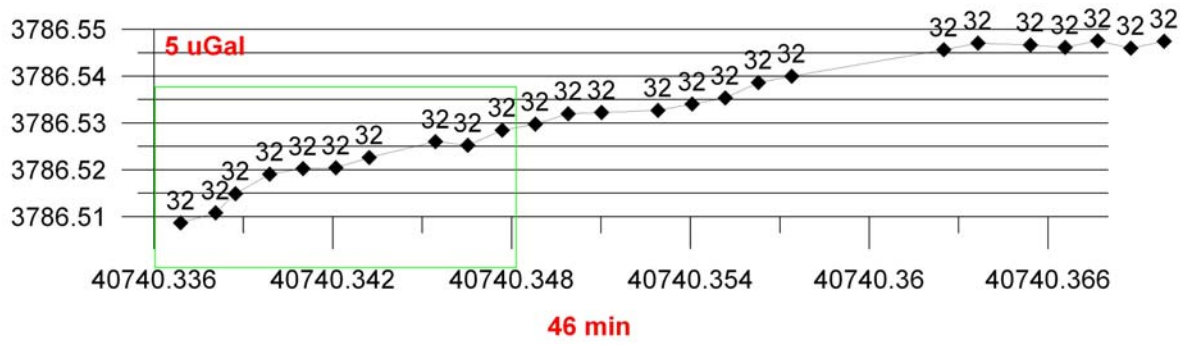
**programa con cambio de deriva**

P18 17 agosto 2011

P19 17 agosto 2011







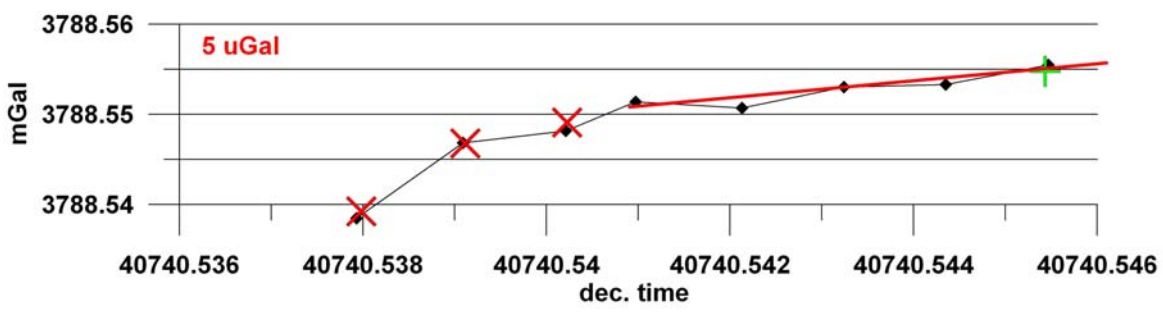
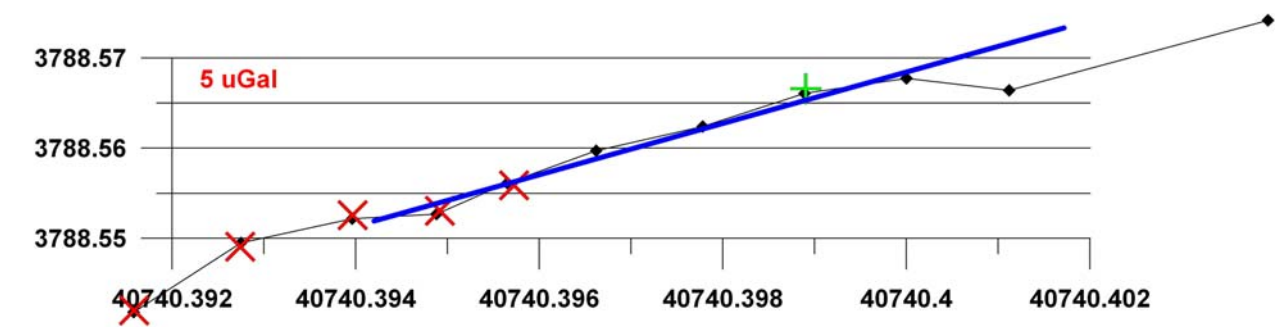
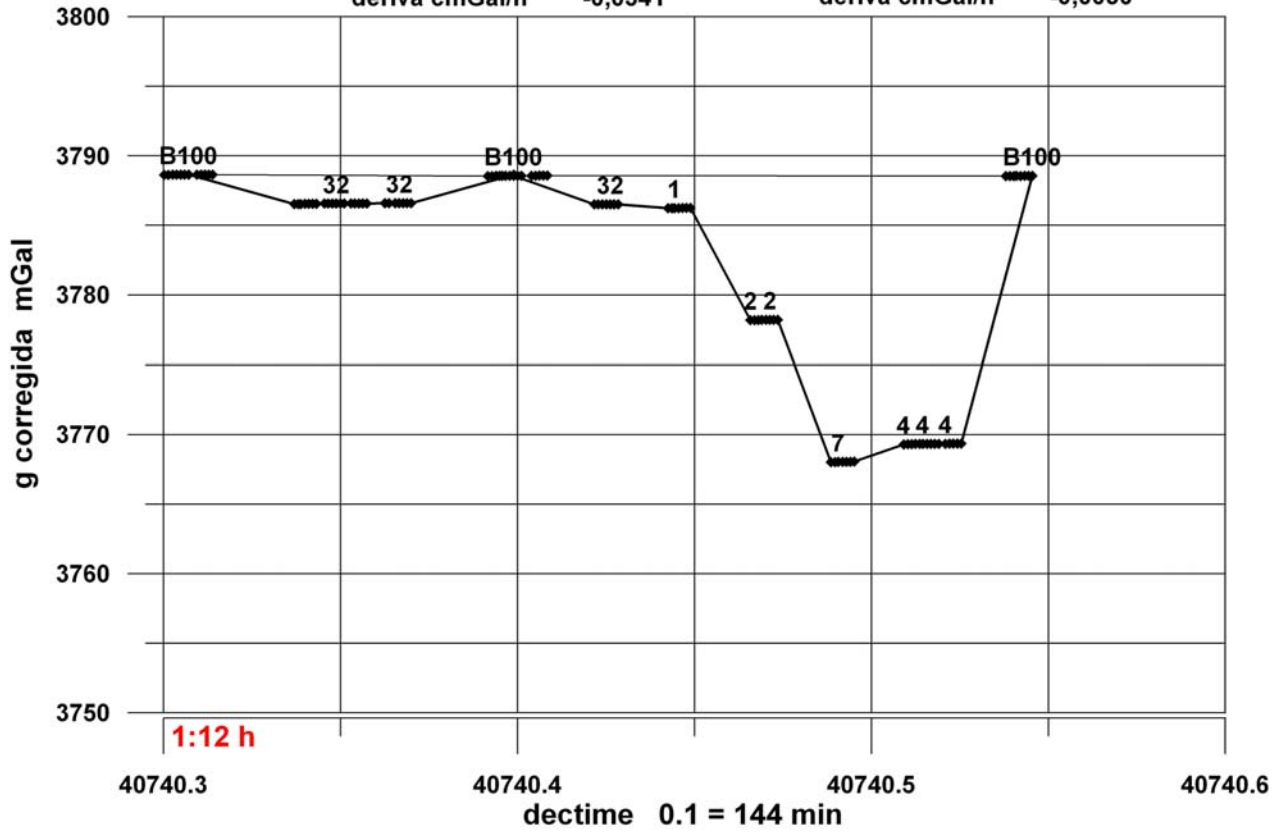
P18 17 agosto 2011

P19 17 agosto 2011

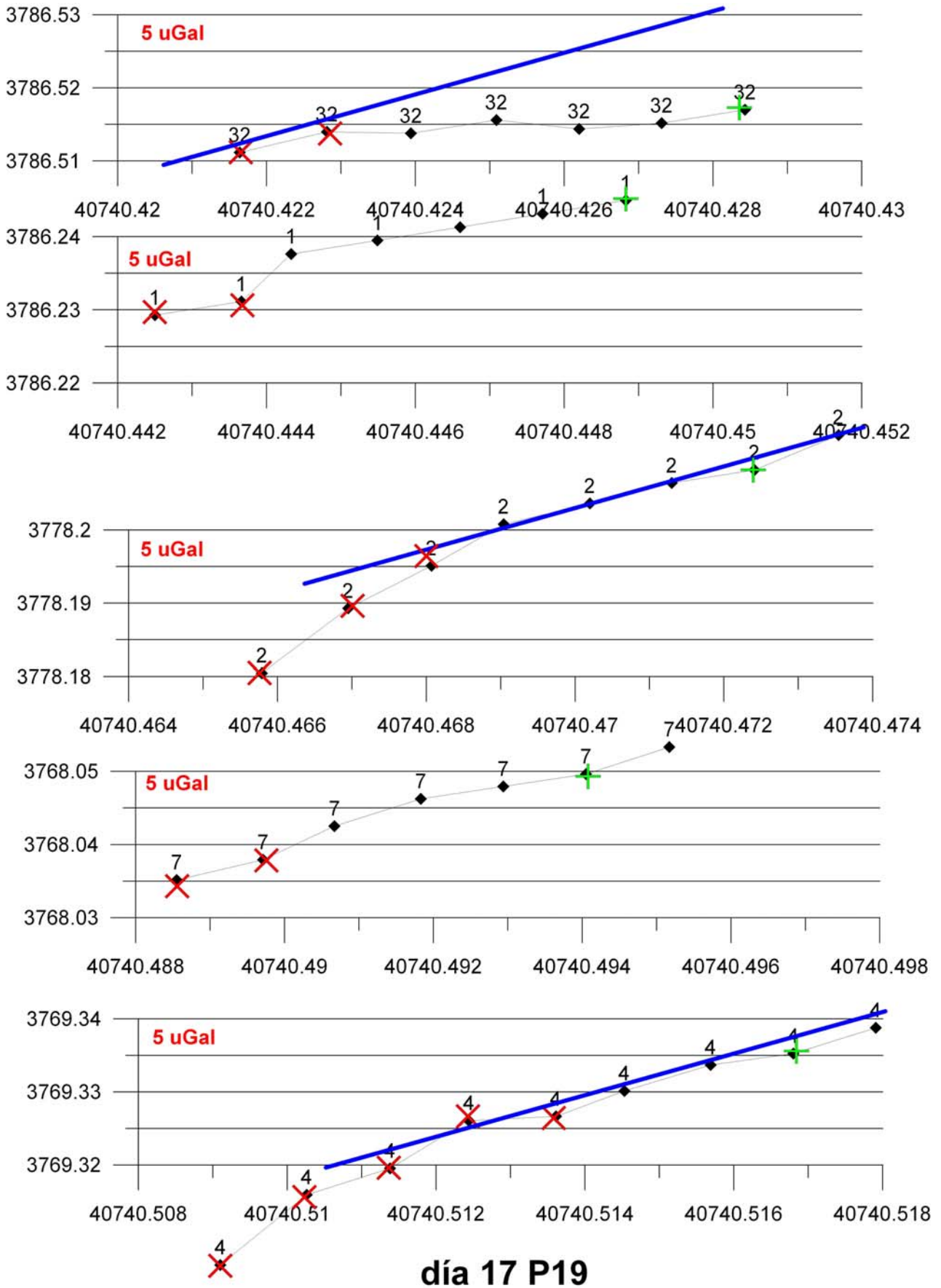
Ronda 3818.50 mGal

dif GRAV -0,075  
dif Tiempo 2:12:27  
deriva cmGal/h -0,0341

dif GRAV -0,011  
dif Tiempo 3:31:25  
deriva cmGal/h -0,0030

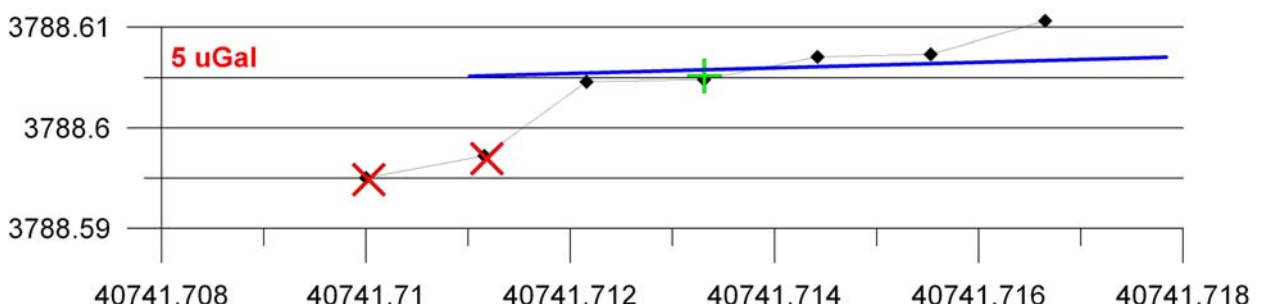
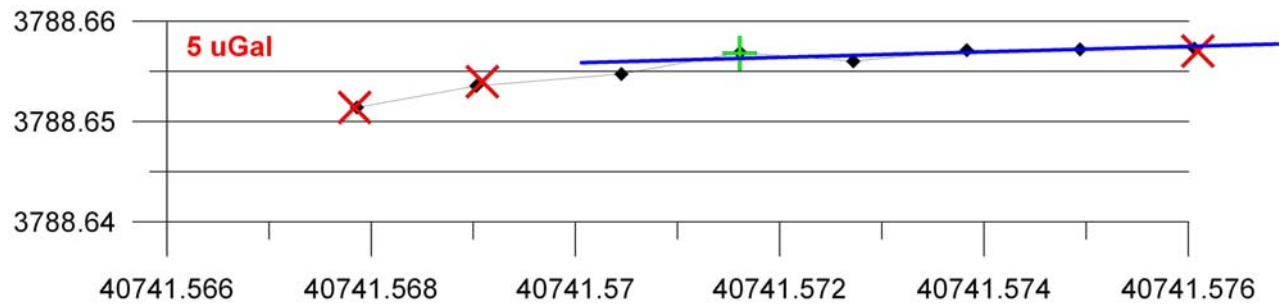
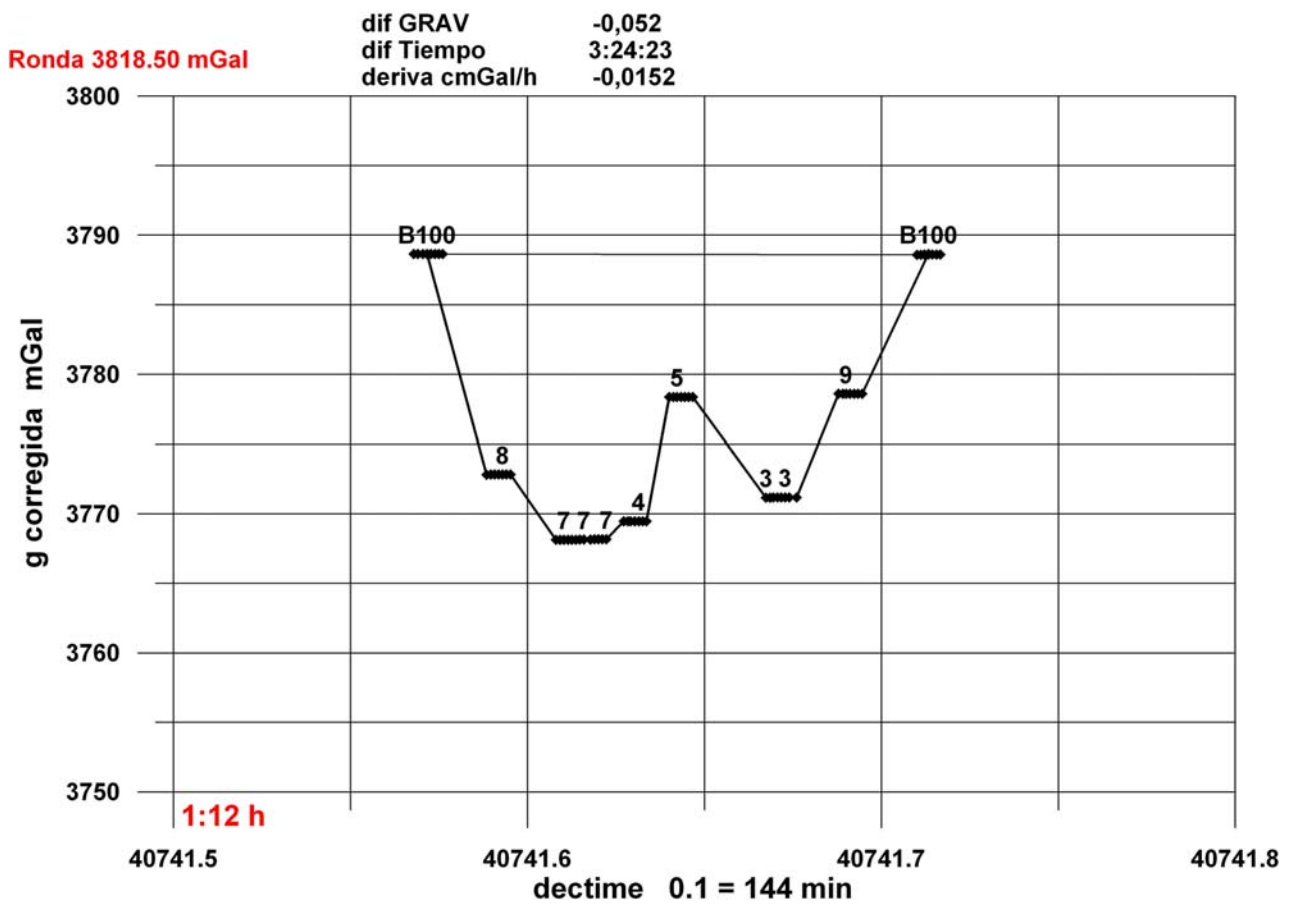


BASE 100 día 17 P19

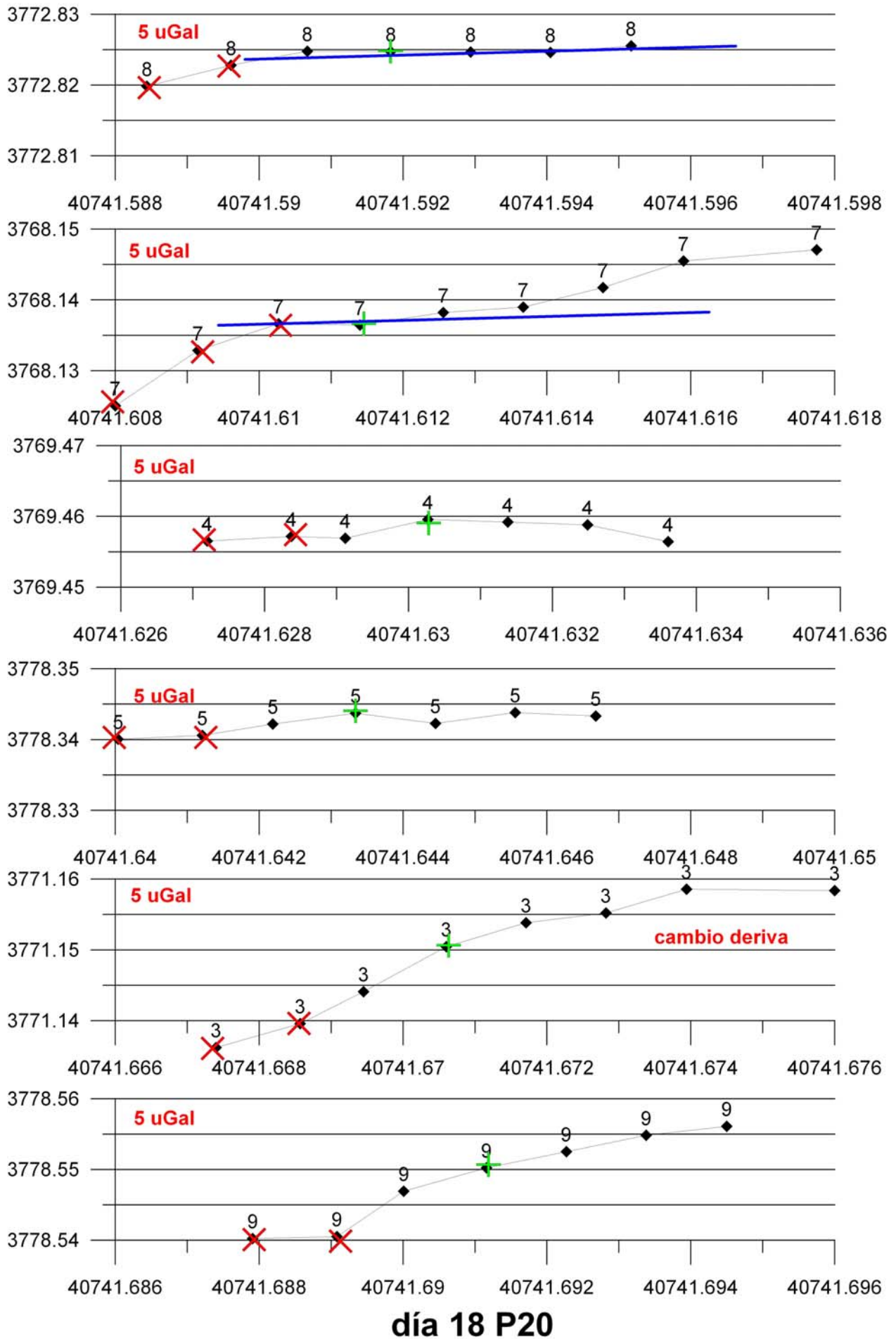




**P20 18 agosto 2011**

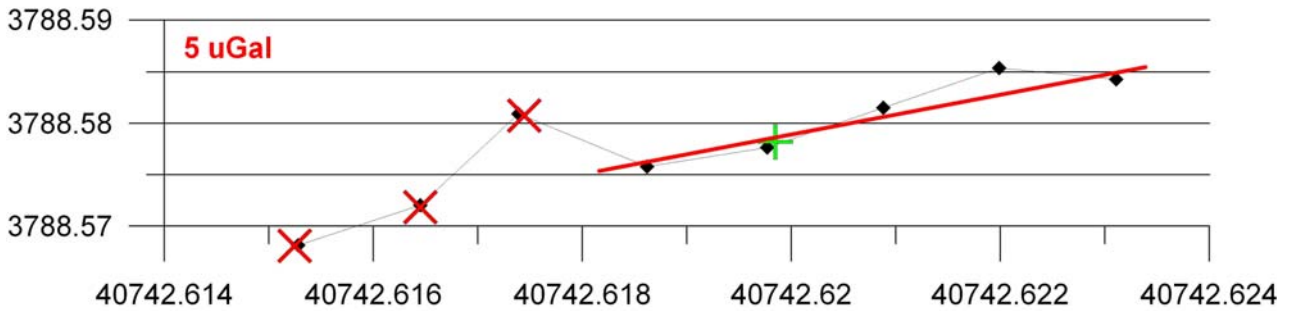
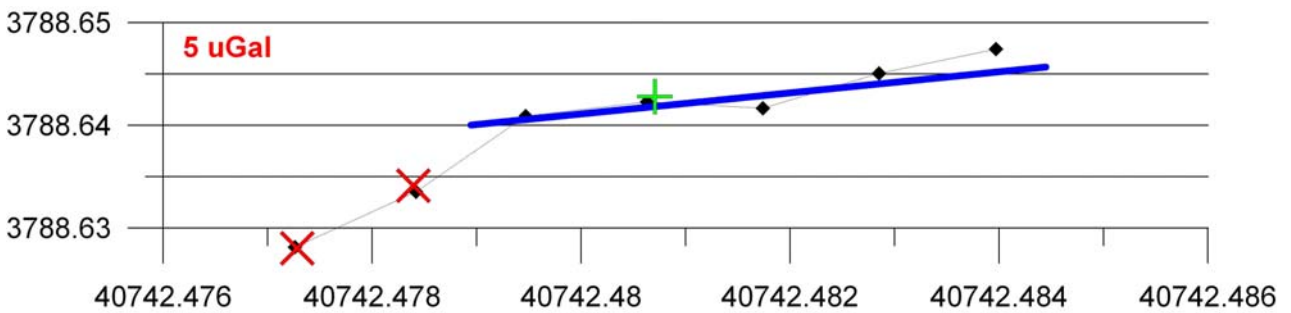
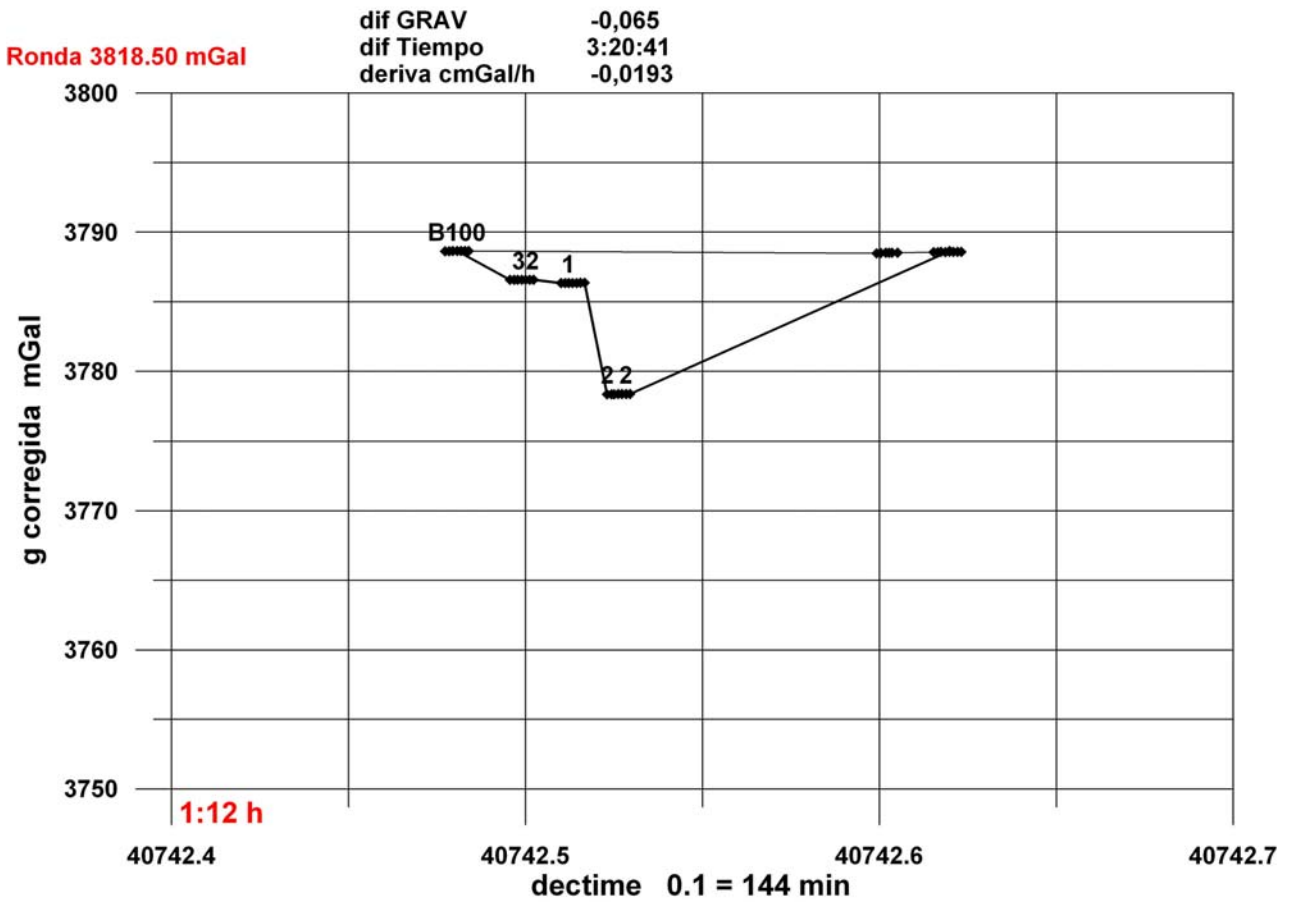


**BASE 100 día 18 P20**



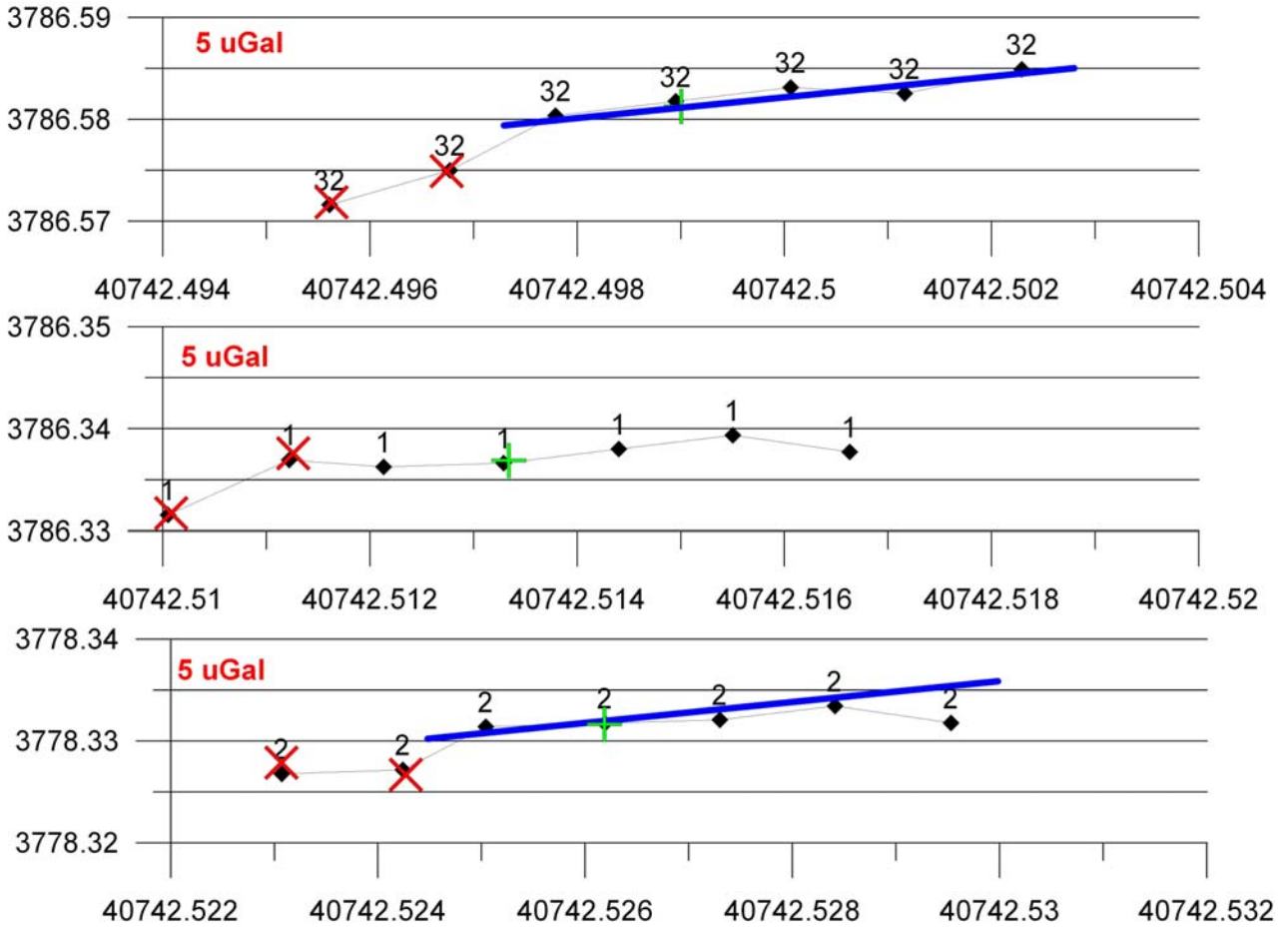
día 18 P20

**P21 19 agosto 2011**



**BASE 100 día 19 P21**





**día 19 P21**

[Página dejada intencionadamente en blanco]

## **ANEXO IV**

### **EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA DE MAYO-JUNIO DE 2012**

- **Gráficos del efecto de la presión atmosférica**
- **Gráficos de lecturas en base y estaciones de los programas de gravimetría**
- **Análisis de la estabilización de lecturas**



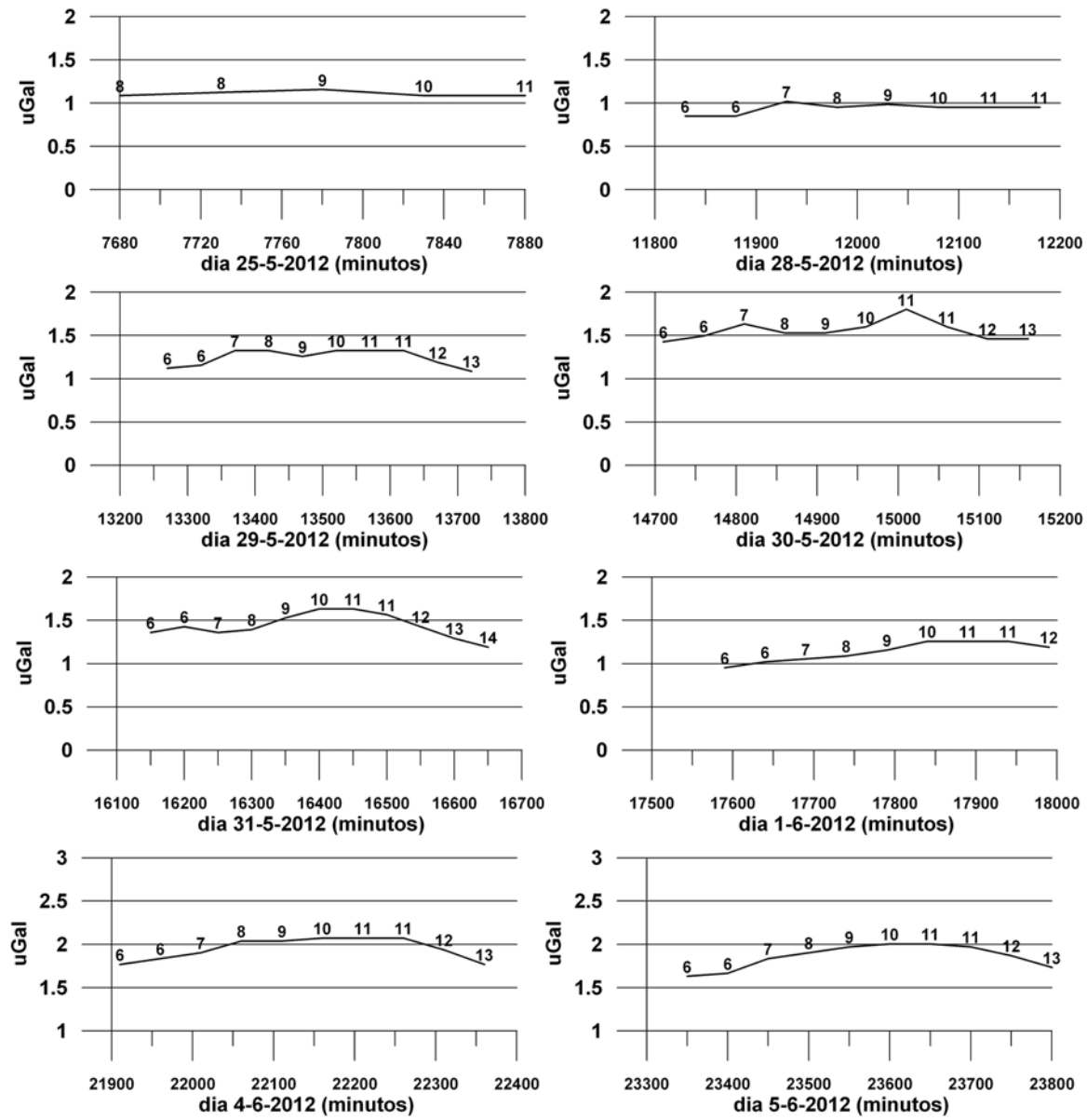
[Página dejada intencionadamente en blanco]

## Gráficos del efecto de la presión atmosférica

La corrección por variación de la gravedad debida a la variación de la presión atmosférica no se ha tenido en cuenta en los cálculos de las anomalías, debido a tener una variación inferior a 0.0005 mGal a lo largo de un programa de mediciones. Se adjuntan, de forma gráfica, las correcciones para cada día de la campaña de mayo-junio de 2012. Se ha tomado como referencia las 00:00 h del día 20 de mayo. Los datos de presión han sido facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología, y pertenecen a la estación de Ronda, cada 10 minutos. El tiempo está en minutos desde el origen, representándose la variación para el intervalo de tiempo de medición de los programa de gravimetría, indicándose las horas sobre las correspondientes curvas.

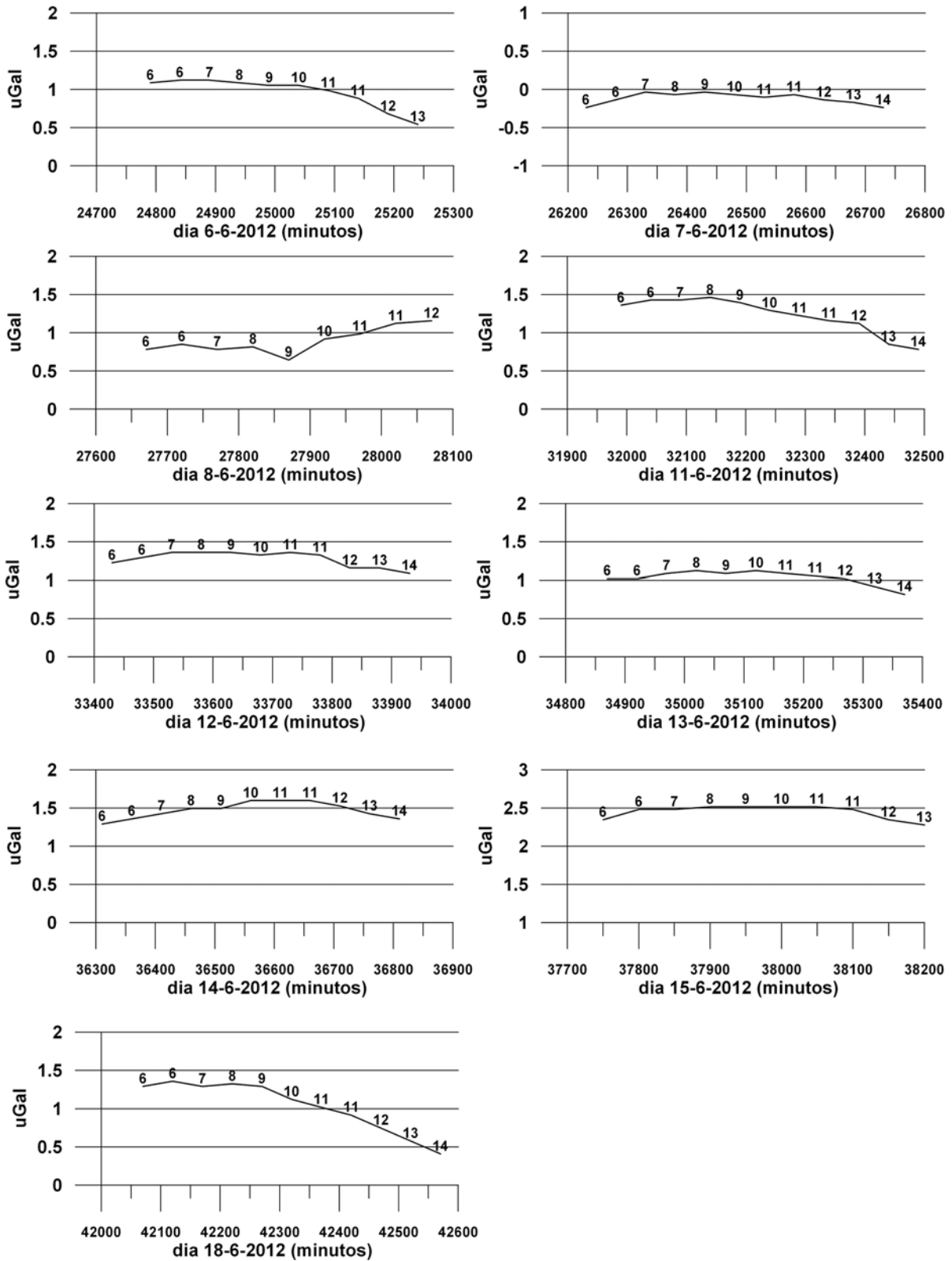
### CORRECCIÓN DE GRAVEDAD POR VARIACIÓN DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA ESTACIÓN DE RONDA, 2012

Valores cada 10 minutos  
 Tiempo en minutos acumulados desde las 00:00 h del día 20-5-2012  
 números en las curvas: hora del día



**CORRECCIÓN DE GRAVEDAD POR VARIACIÓN DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA  
ESTACIÓN DE RONDA, 2012**

Valores cada 10 minutos  
Tiempo en minutos acumulados desde las 00:00 h del día 20-5-2012  
números en las curvas: hora del día





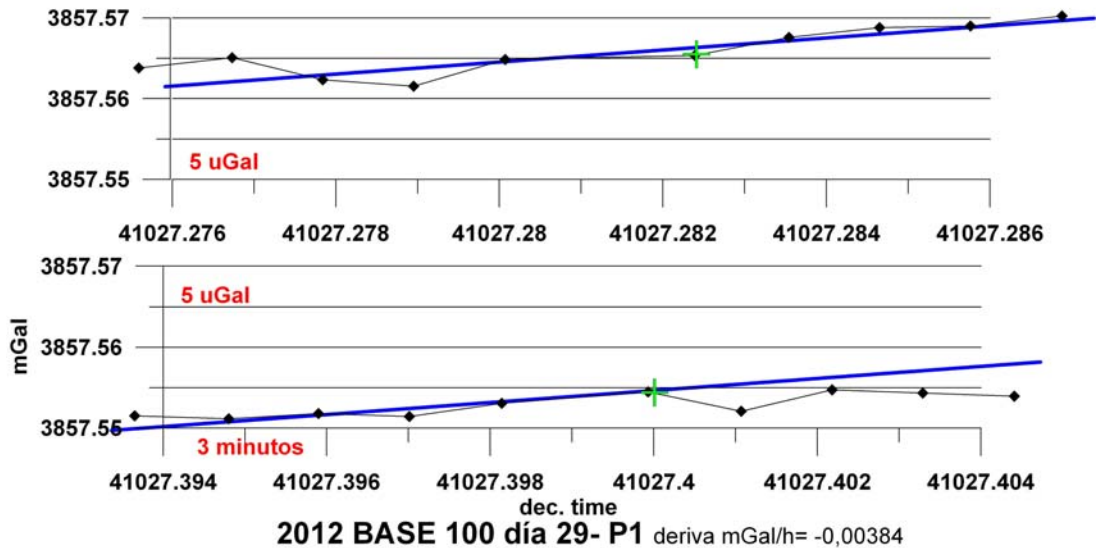
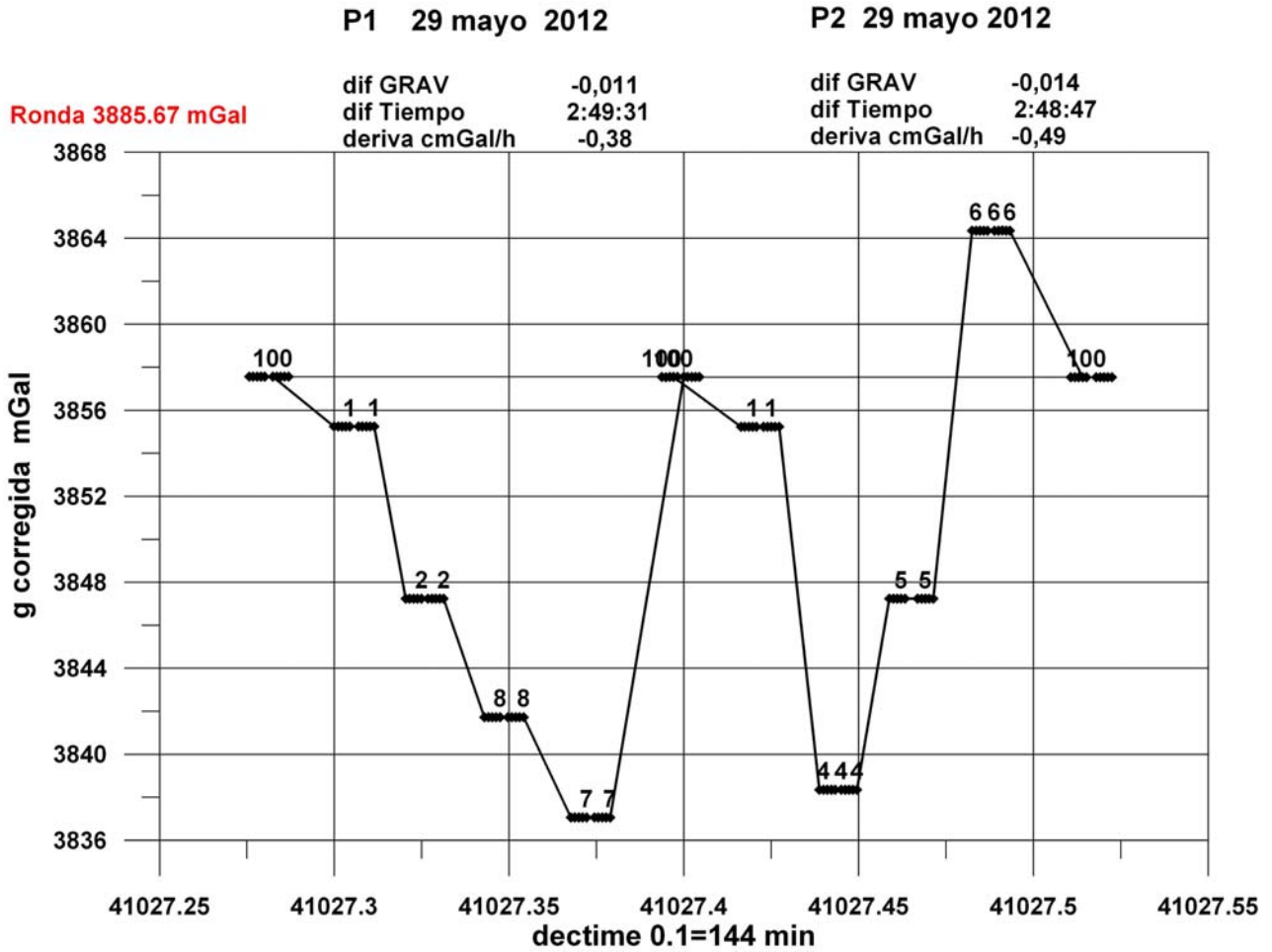
## **Gráficos de lecturas en base y estaciones de los programas de gravimetría en la campaña de 2012**

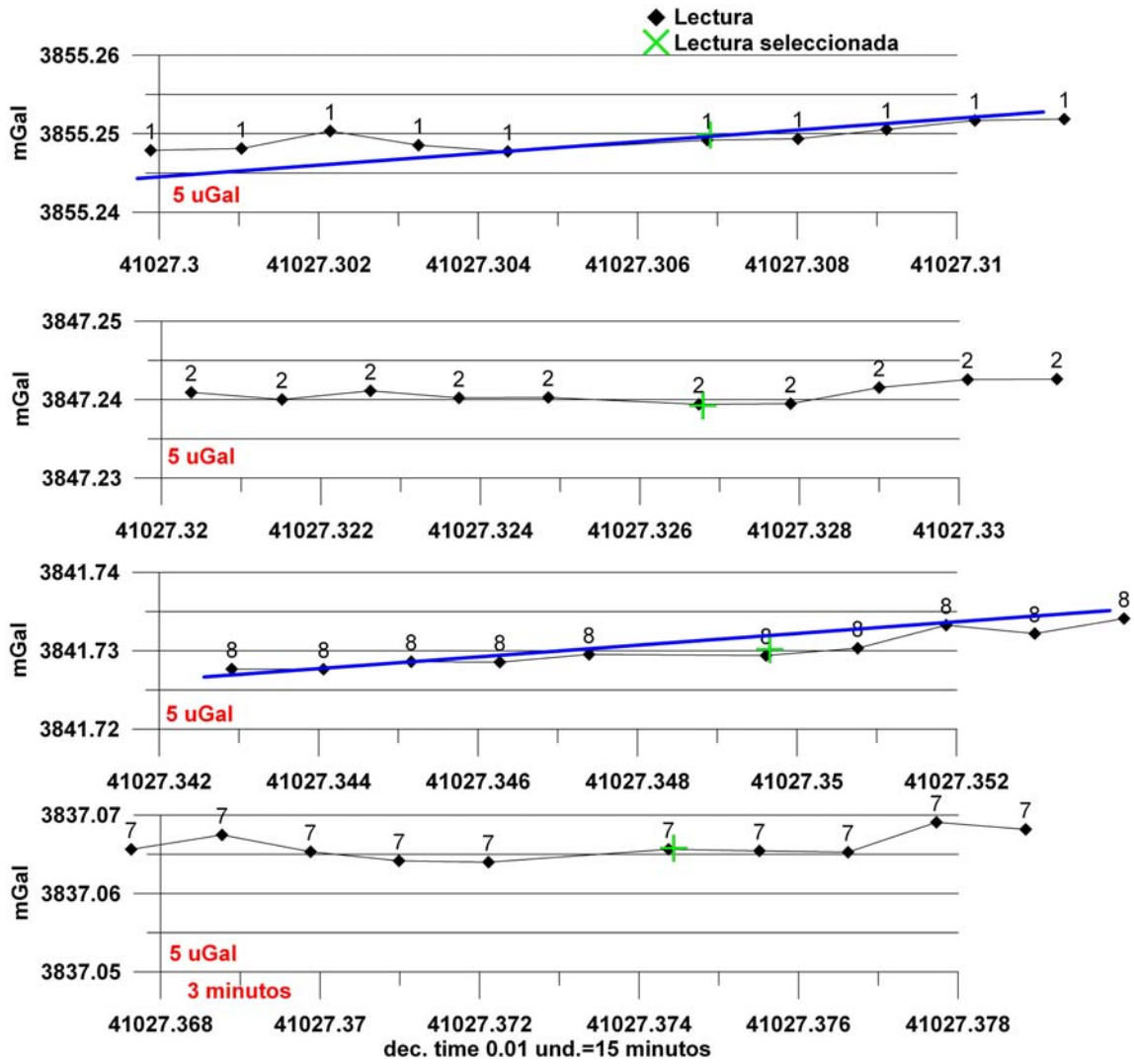
Para cada programa de medidas se presentan en primer lugar las lecturas de apertura y cierre en la Base100, y a continuación las lecturas en las estaciones del programa. Se indica mediante un aspa de color rojo las lecturas rechazadas o más dudosas, bien por ser las primeras efectuadas antes de la re-nivelación del gravímetro o bien por cualquier otra causa (rechazos, ruido, etc.). Para la Base se ha trazado con una línea azul la tendencia de las lecturas en la apertura, y en color rojo la tendencia del cierre, cuando es netamente diferente de la de apertura. Con una cruz verde se indica el ciclo o lectura seleccionada. Las lecturas seleccionadas de apertura y cierre en base son las utilizadas para el cálculo de la deriva del programa; la lectura de apertura en base es además la utilizada para el cálculo de las anomalías (diferencia de lecturas entre estación y base).

La línea de tendencia en la apertura en base se ha trasladado a las lecturas de las estaciones, permitiendo su inspección visual apreciar la mayor o menor fiabilidad del criterio para la selección de lecturas. En ocasiones se ha marcado esta tendencia en color verde, para resaltar su diferencia con la observada en la apertura en base.

La escala de todos los gráficos es la misma:

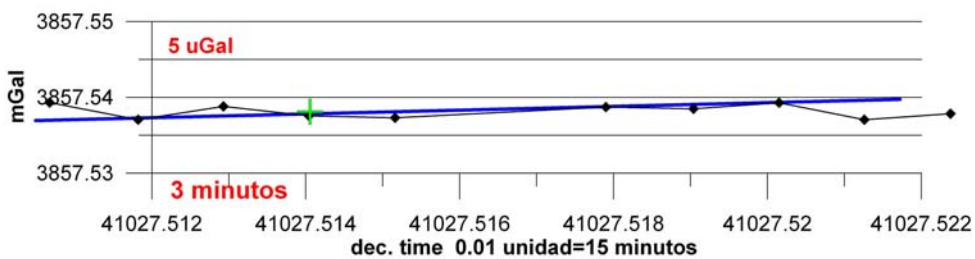
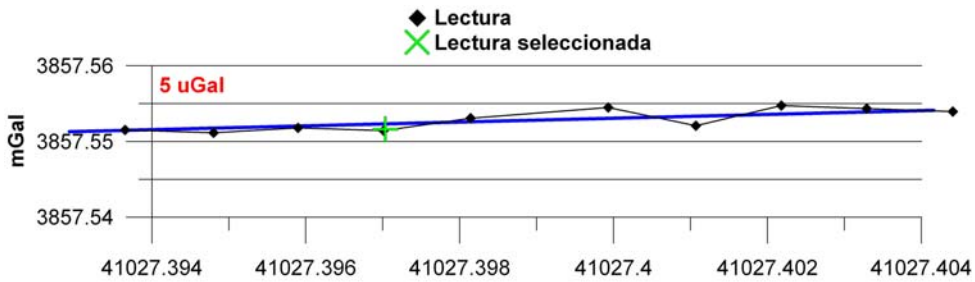
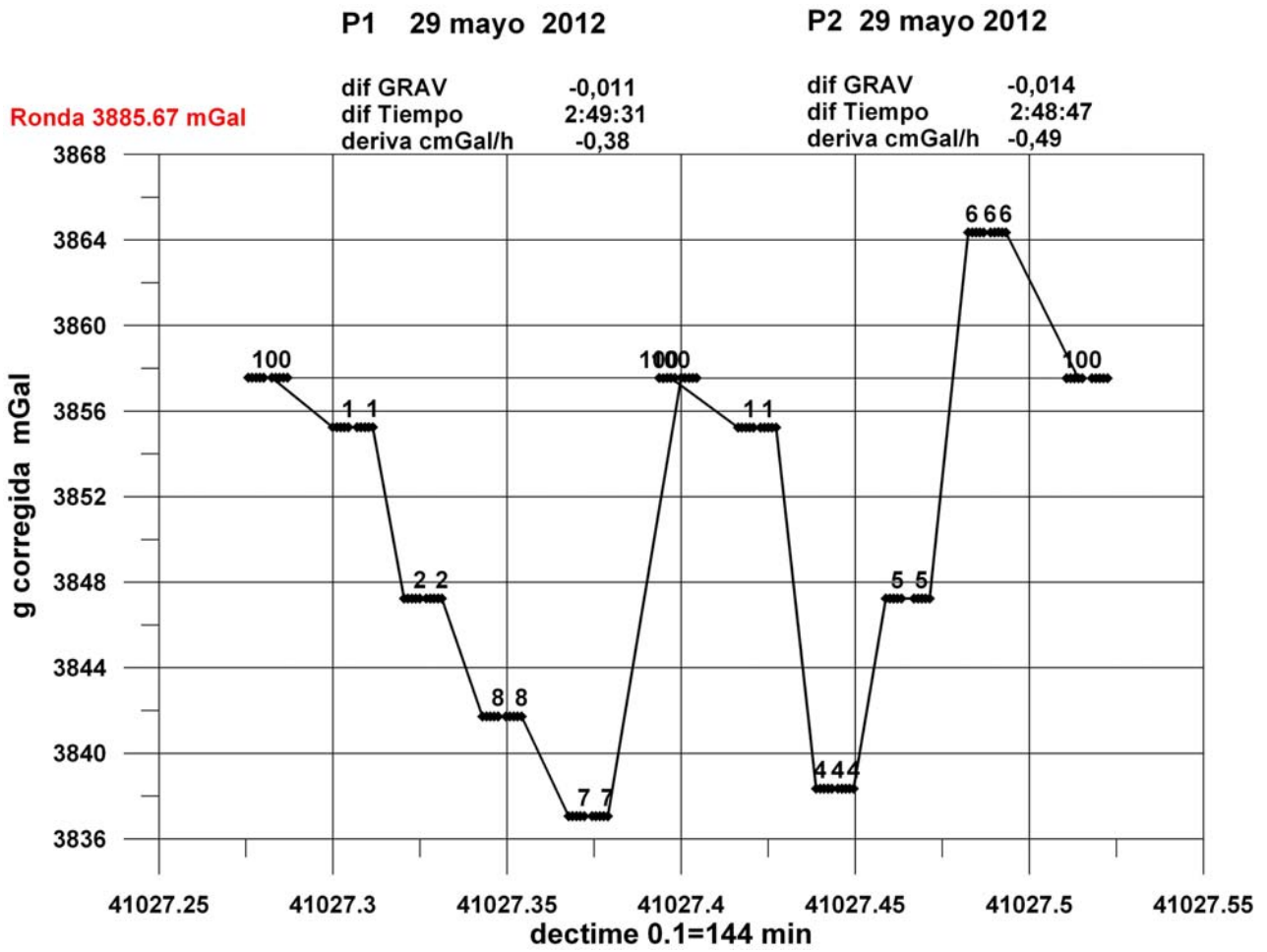
- eje de tiempos: 0.01 unidades de tiempo decimal, equivalente a unos 15 minutos a fondo de escala. Marcas mayores de tiempo cada 0.002 (unos 3 minutos). Cuando se han realizado más ciclos se lectura se ha cambiado el fondo de escala de tiempo, indicándose siempre los minutos entre marcas principales.
- eje vertical: 0.02 mGal. Marcas y líneas cada 0.005 mGal.



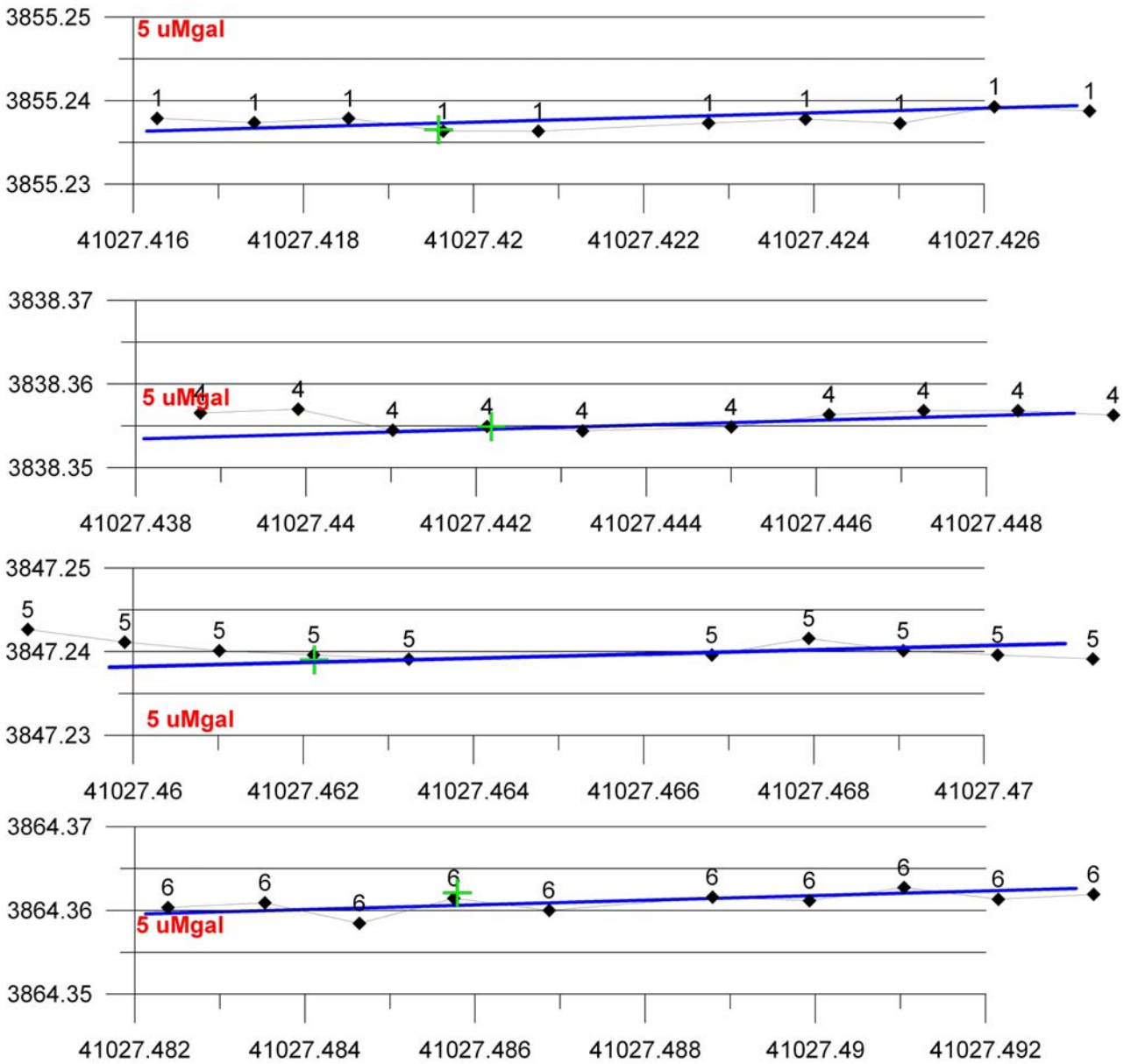


**día 29-5-2012 P1**





**BASE 100 día 29-5-2012 P2**



**día 29-5-2012 P2**

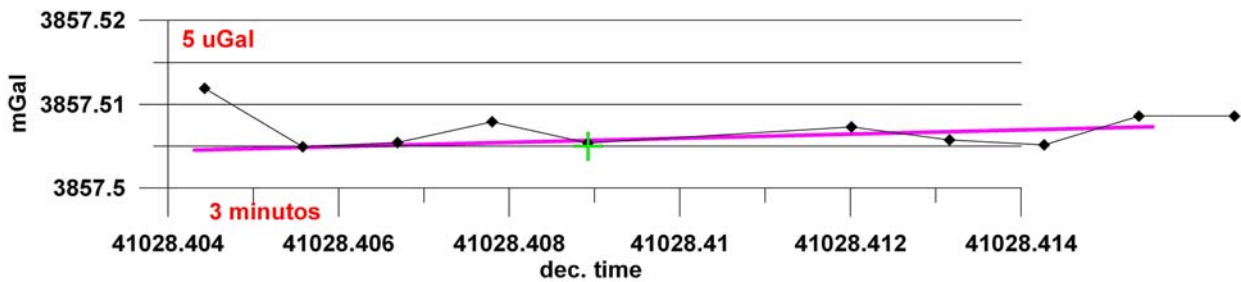
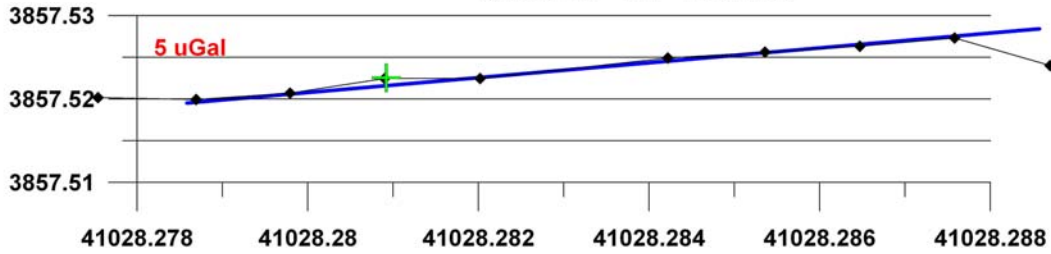
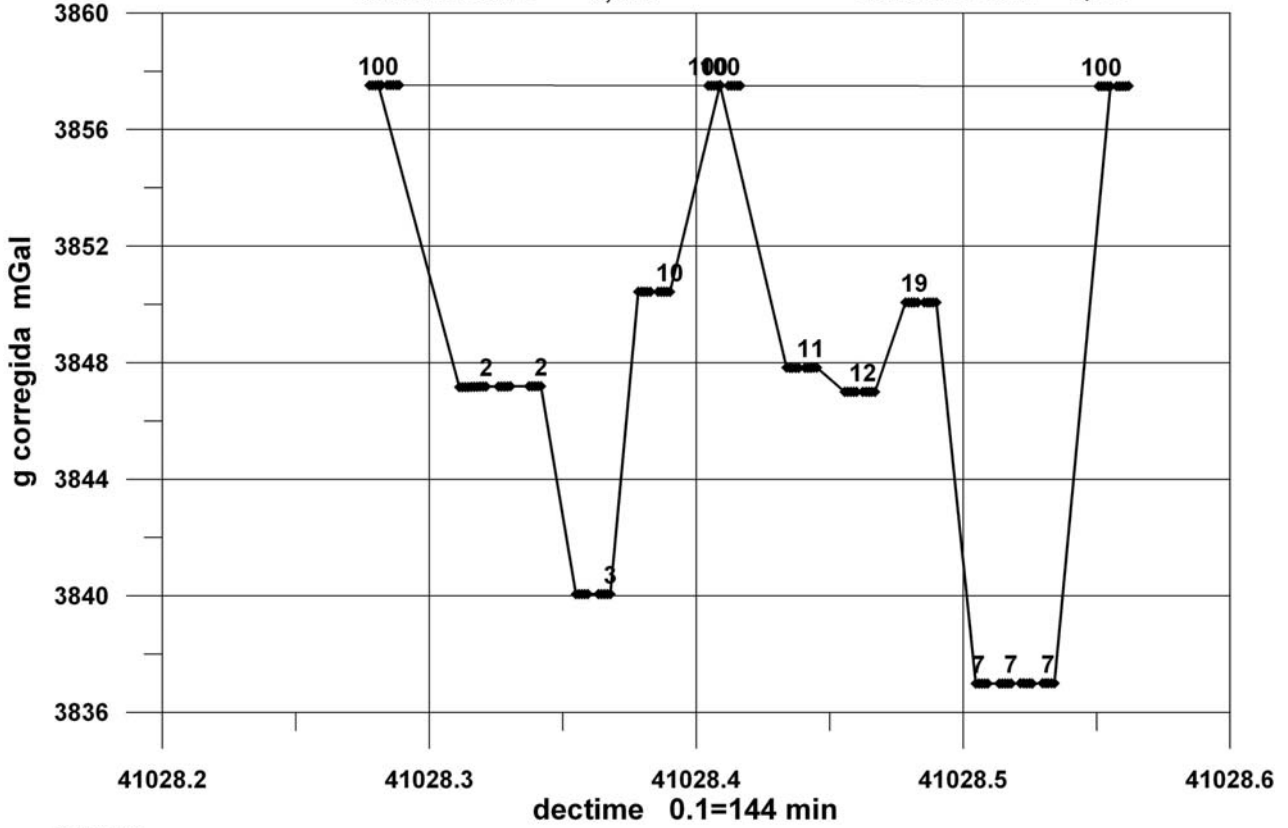
**P3 día 30 mayo**

**P4 30 mayo 2012**

Ronda 3885.65 mGal

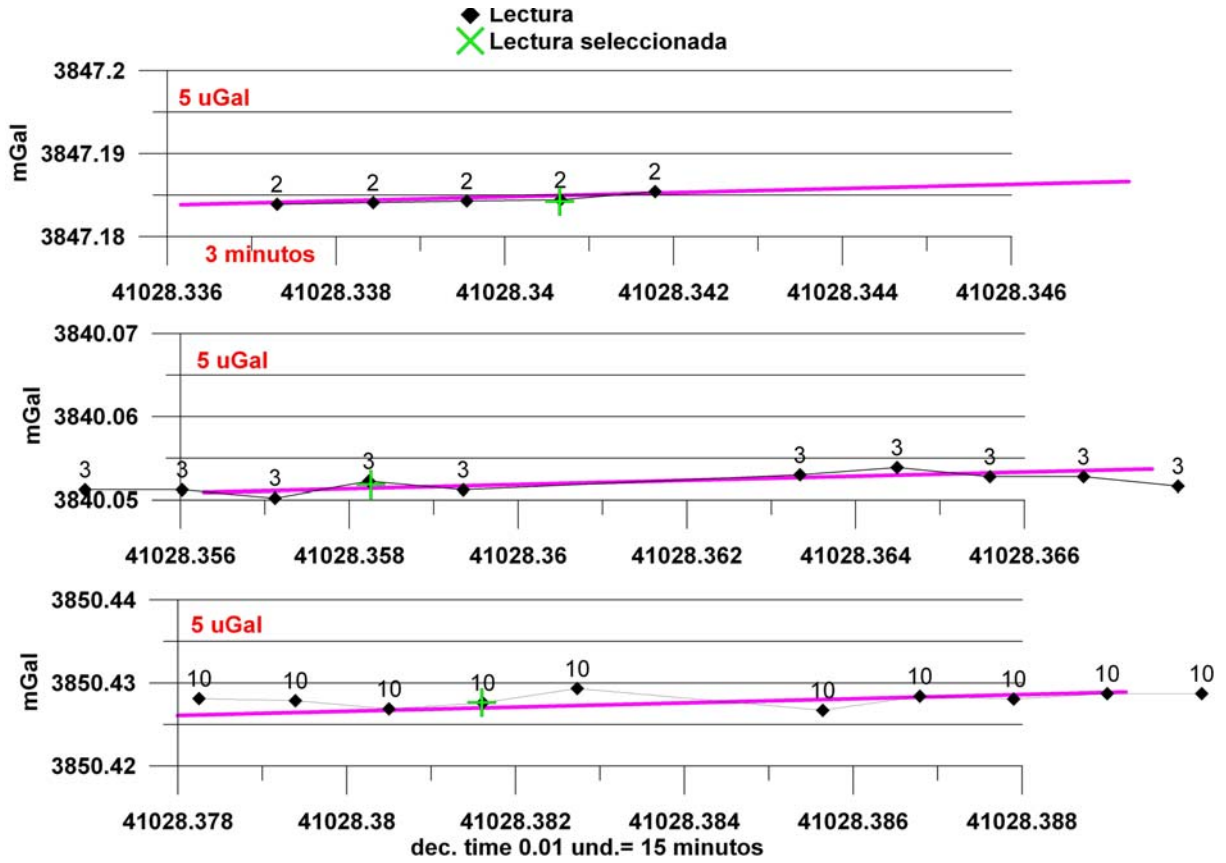
dif GRAV -0,017  
 dif Tiempo 3:04:38  
 deriva cmGal/h -0,554

dif GRAV -0,015  
 dif Tiempo 3:30:56  
 deriva cmGal/h -0,431

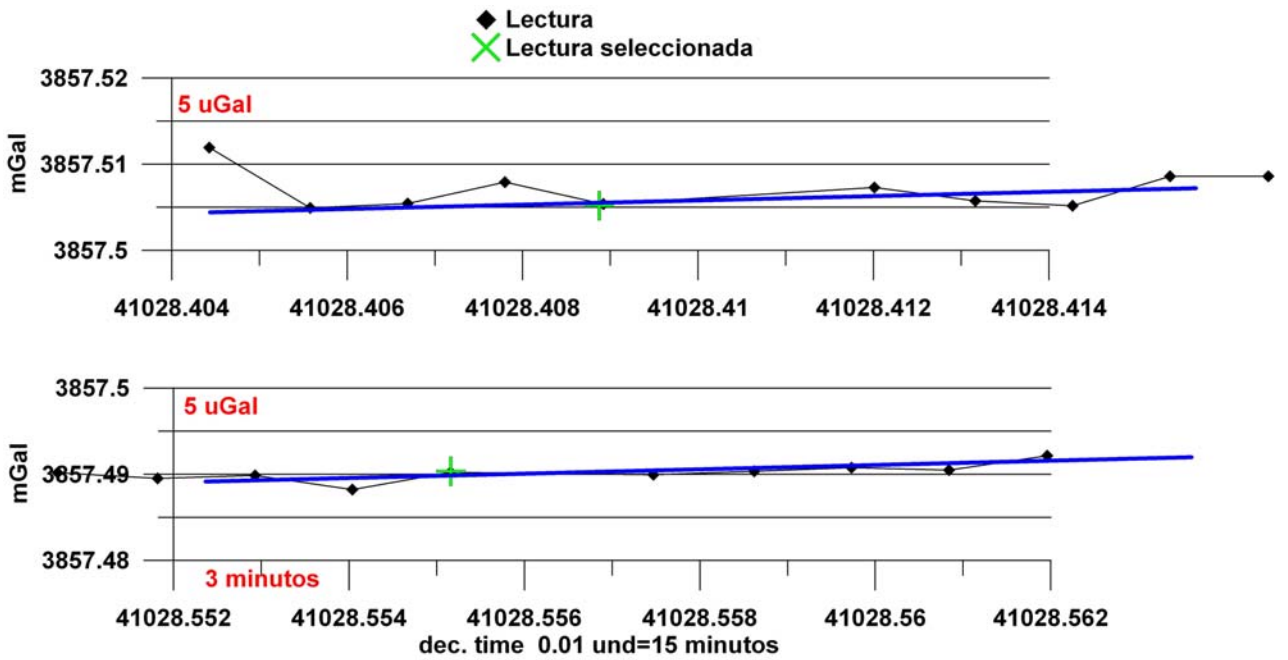
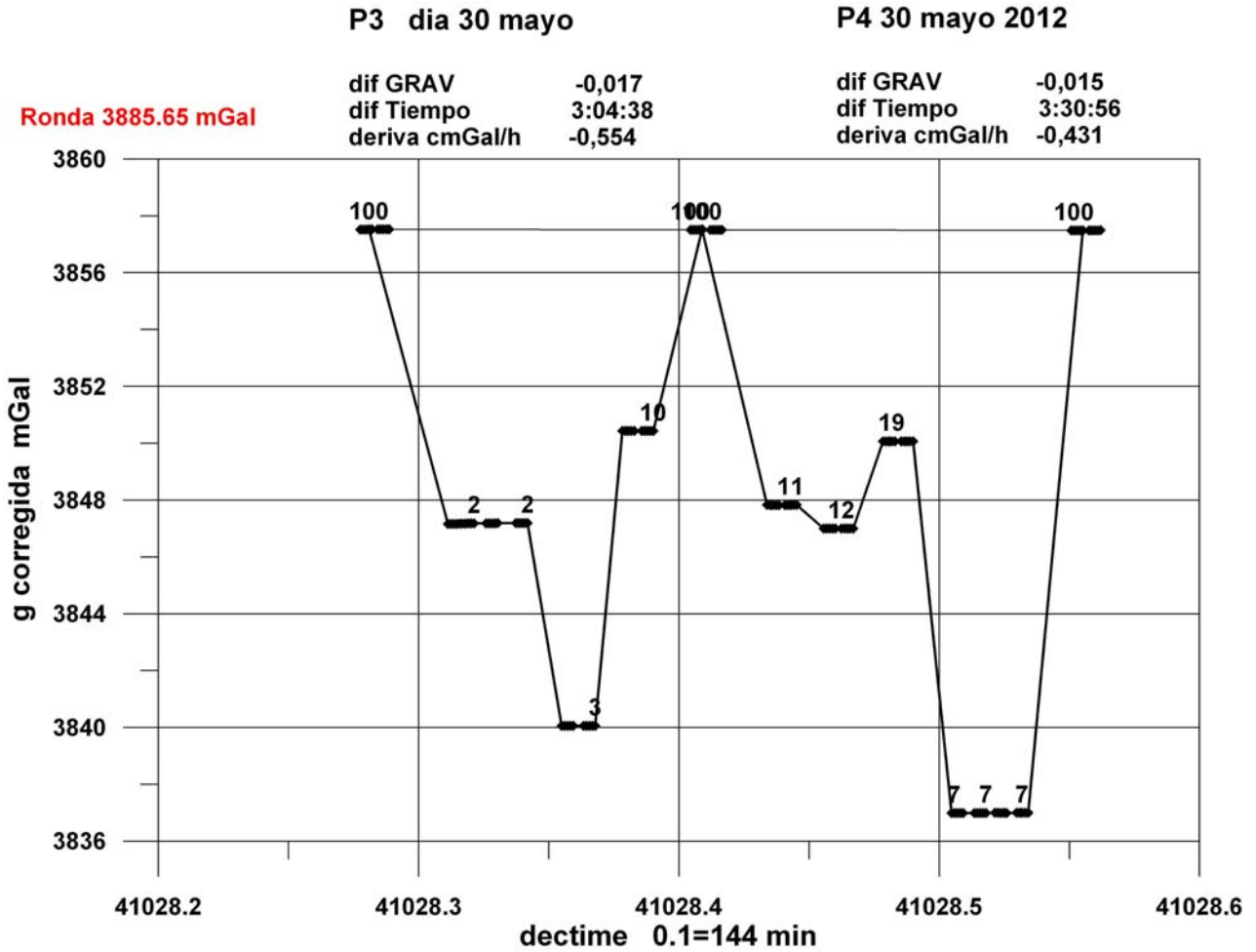


**BASE 100 día 30-5-2012 P3 deriva mGal/h = -0,0055**





día 30-5-2012 P3



**BASE 100 día 30-5-2012 P4**

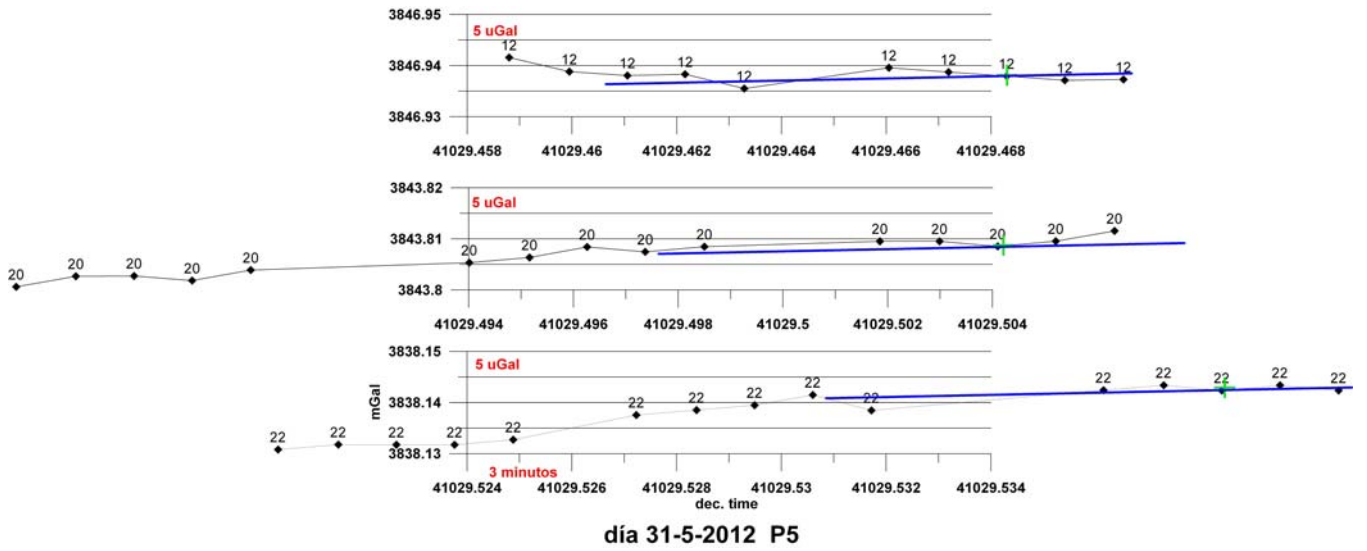
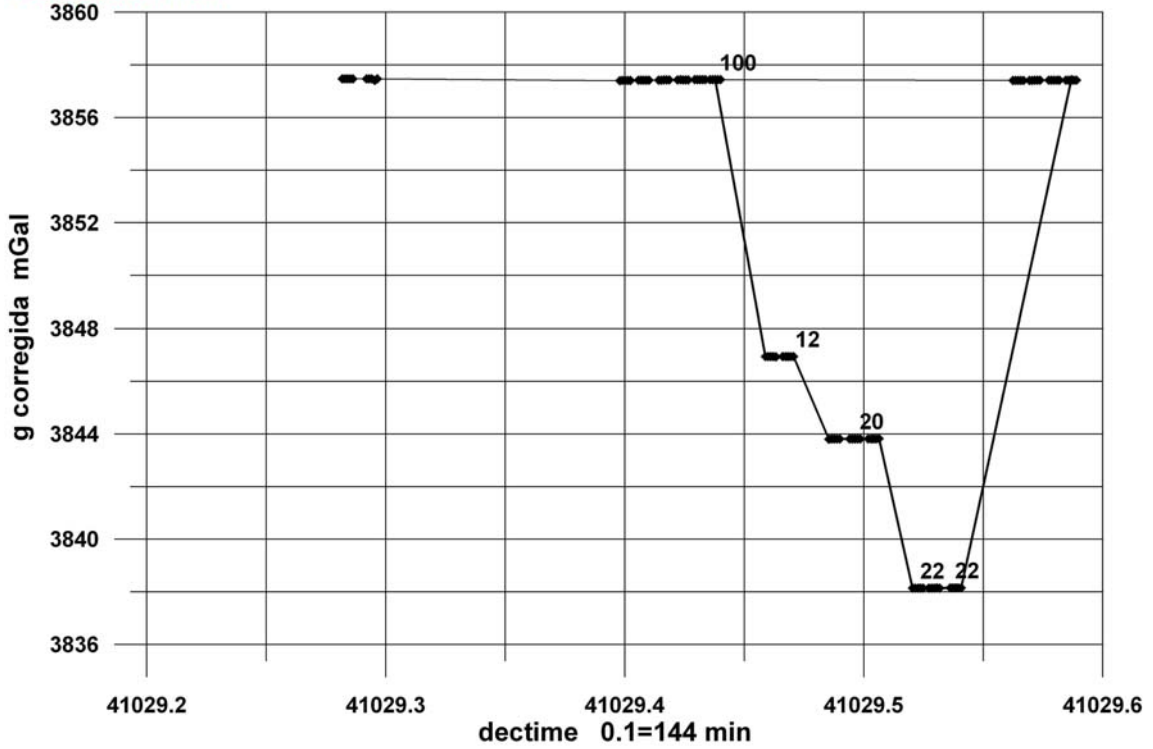


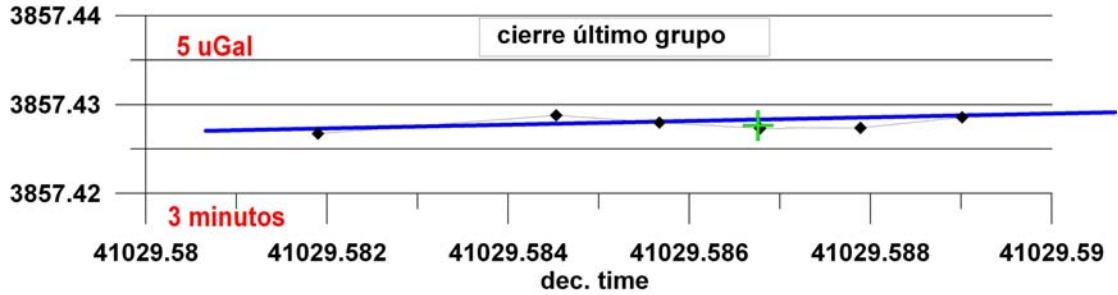
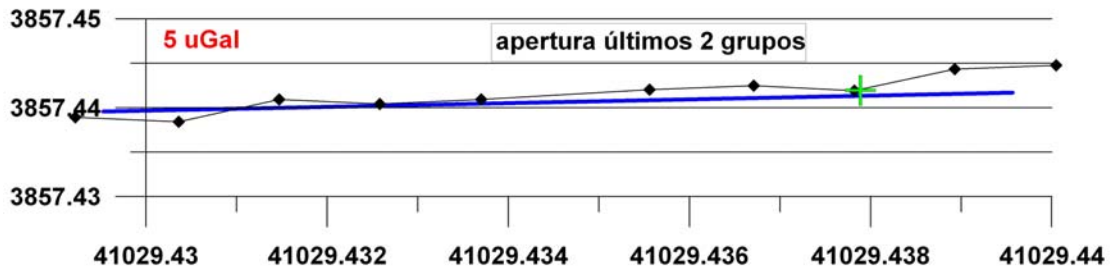
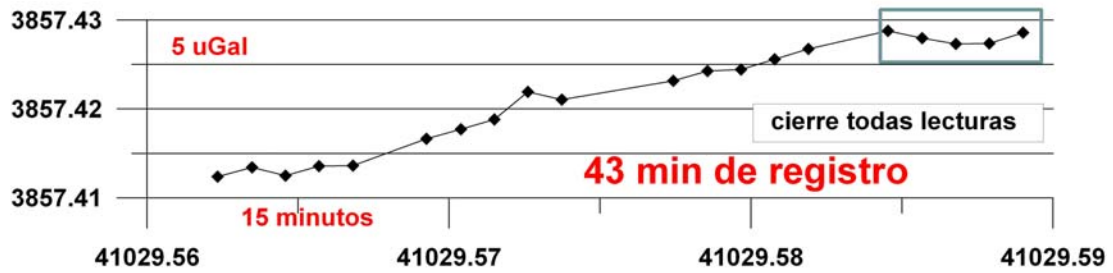
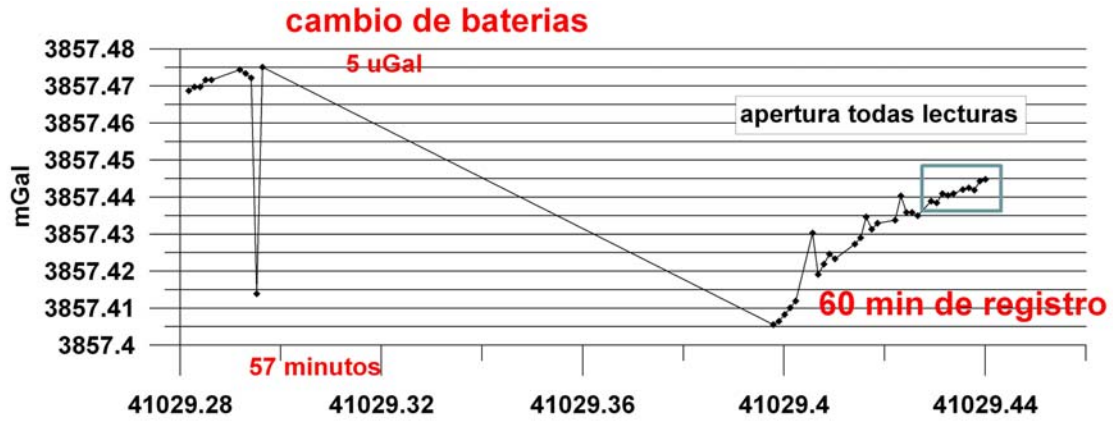


P5 31 mayo 2012

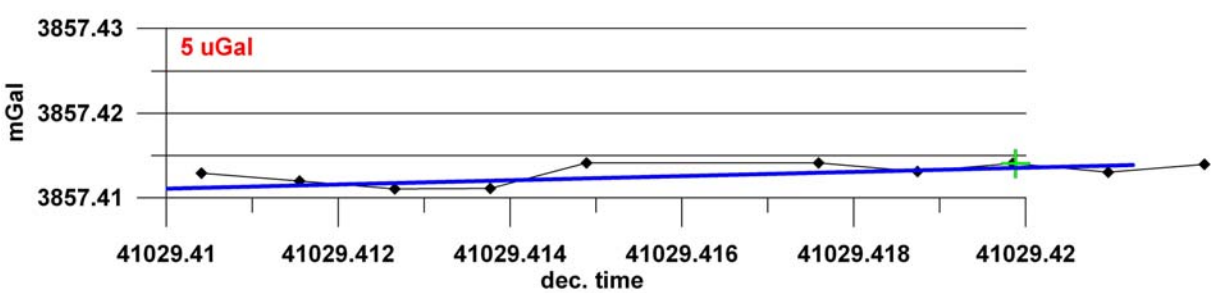
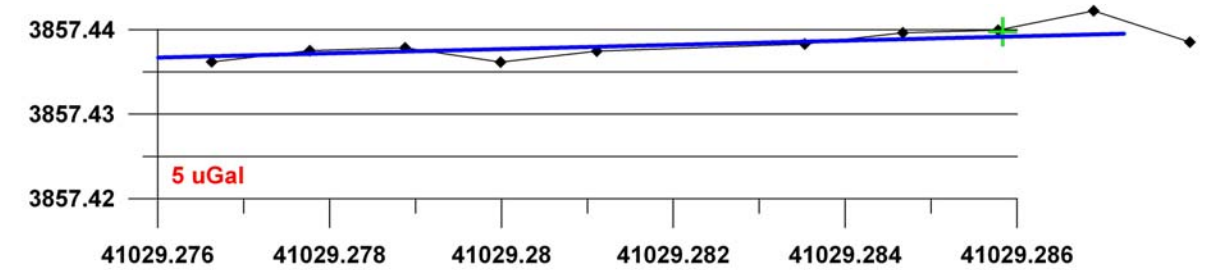
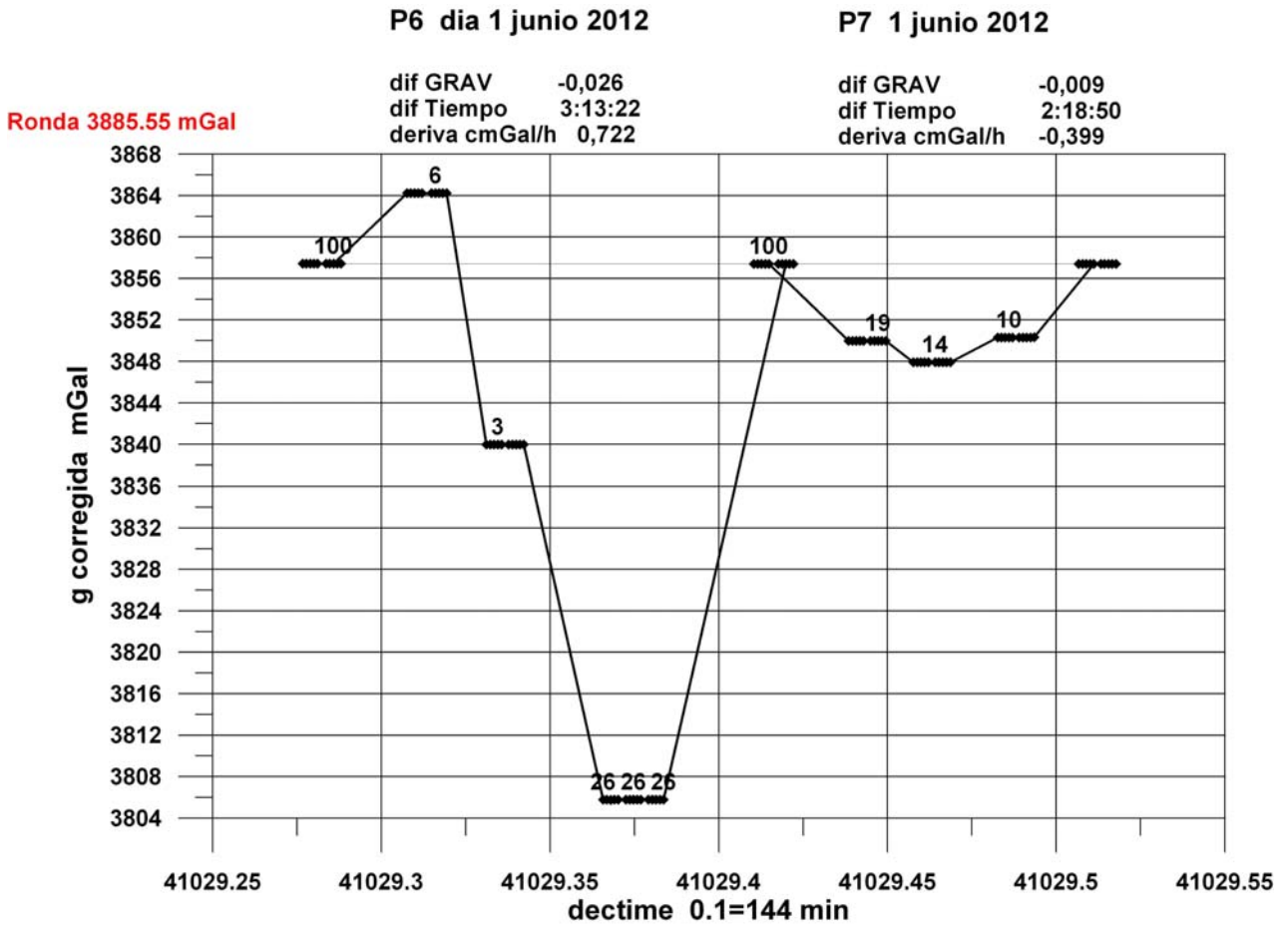
dif GRAV -0,015  
 dif Tiempo 3:34:51  
 deriva cmGal/h -0,407

Ronda 3885.55 mGal



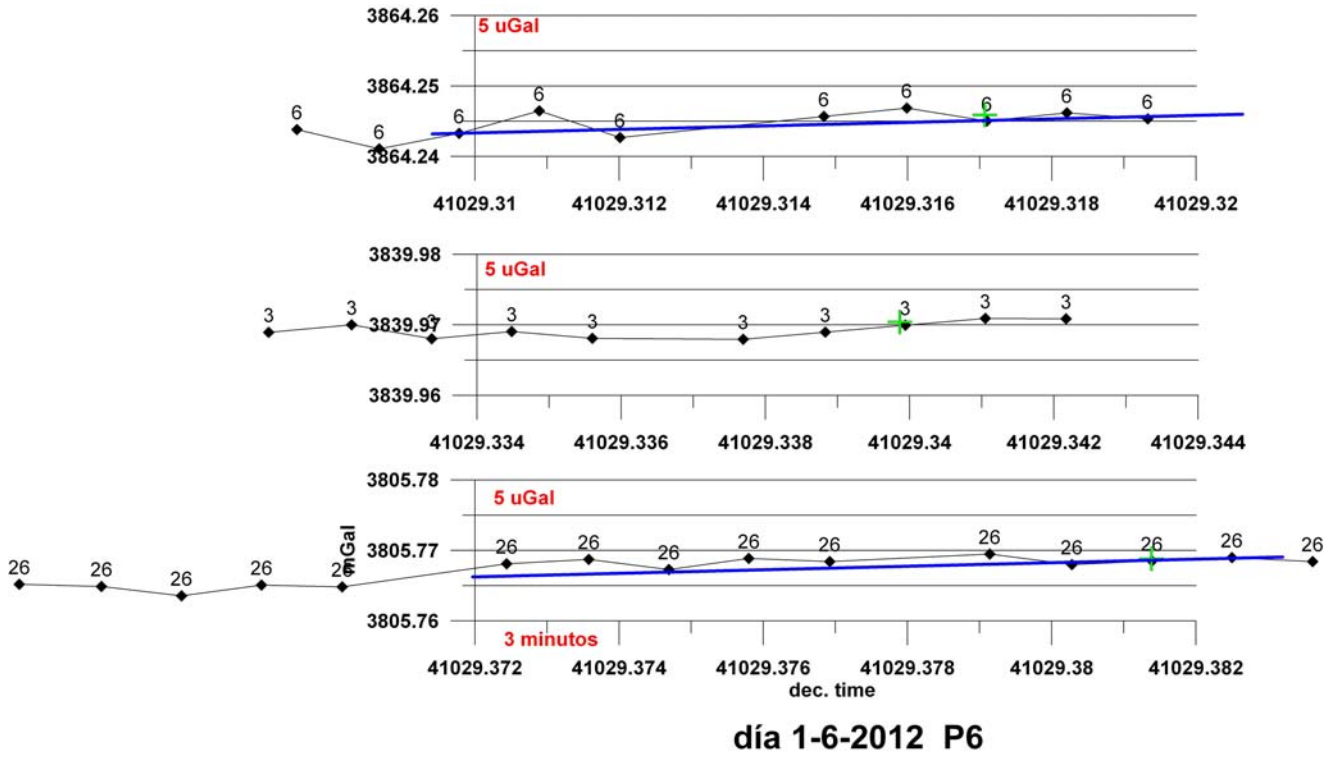


**BASE 100 día 31-5-2012 P5**

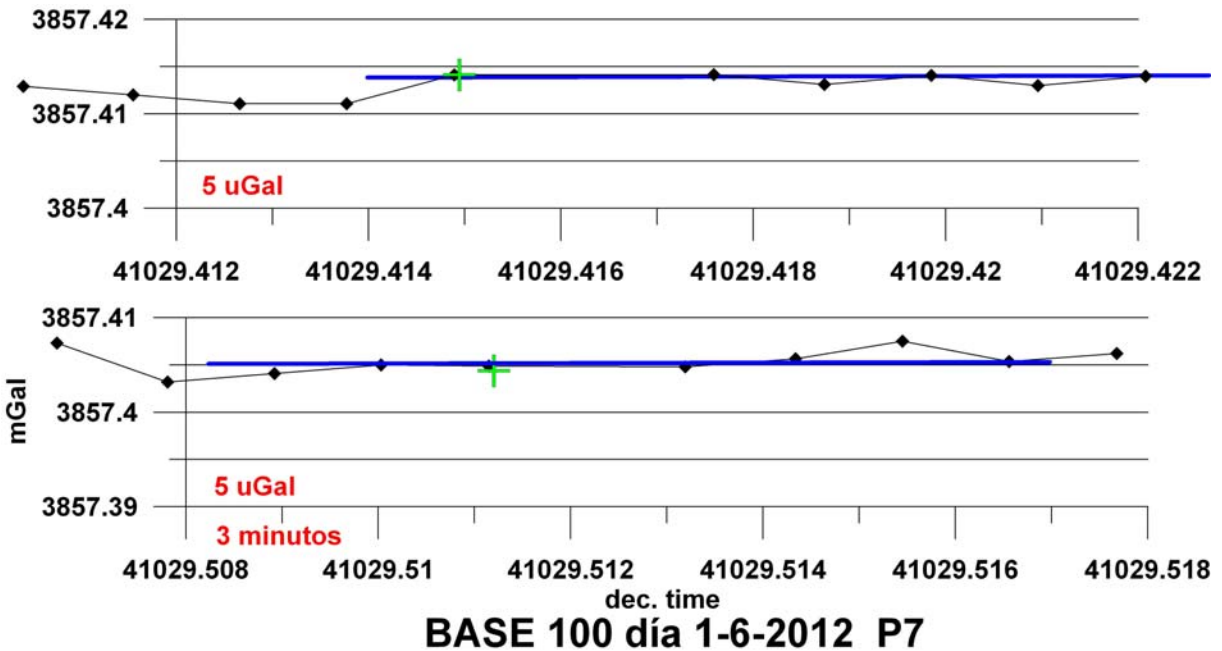
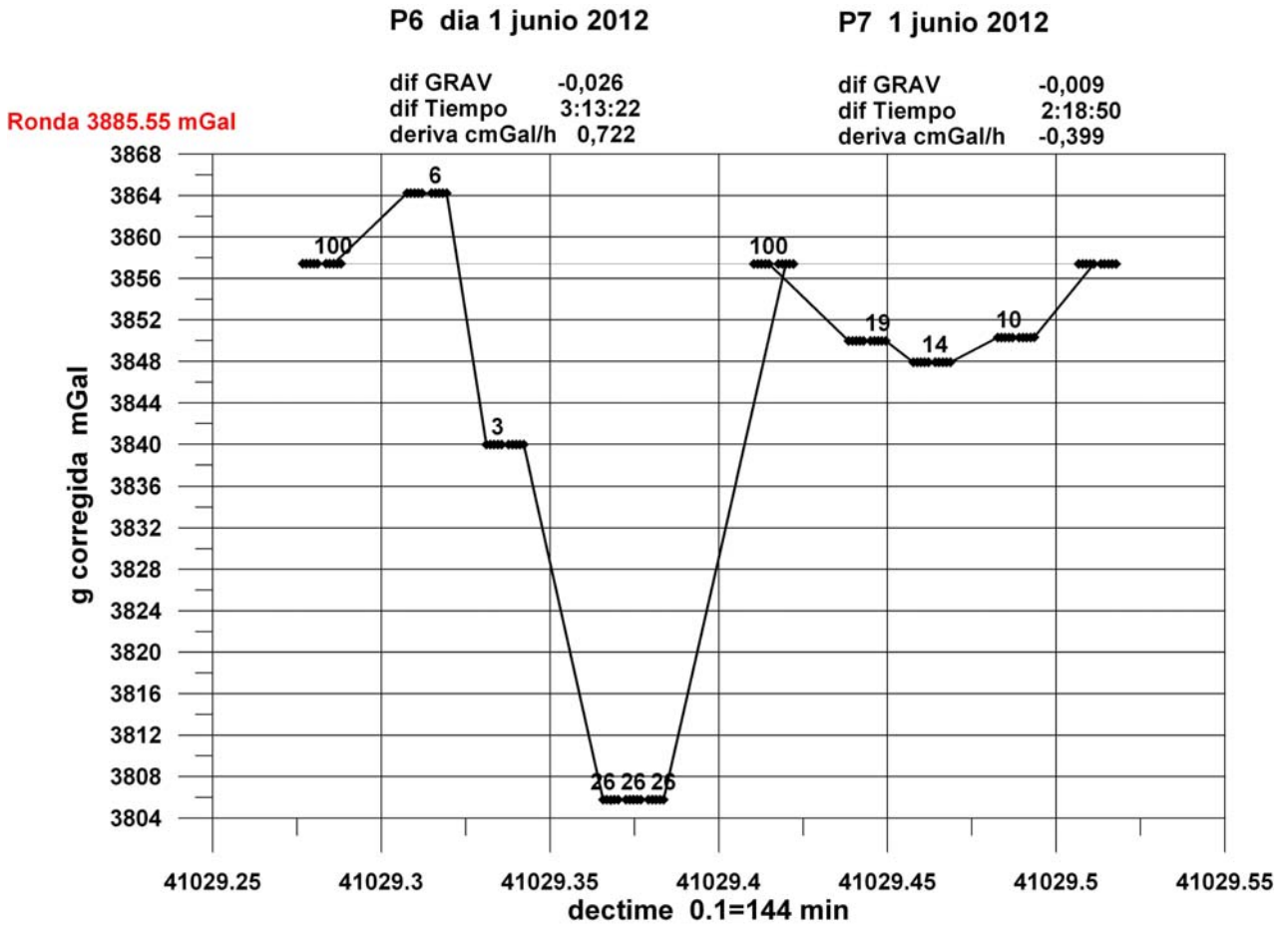


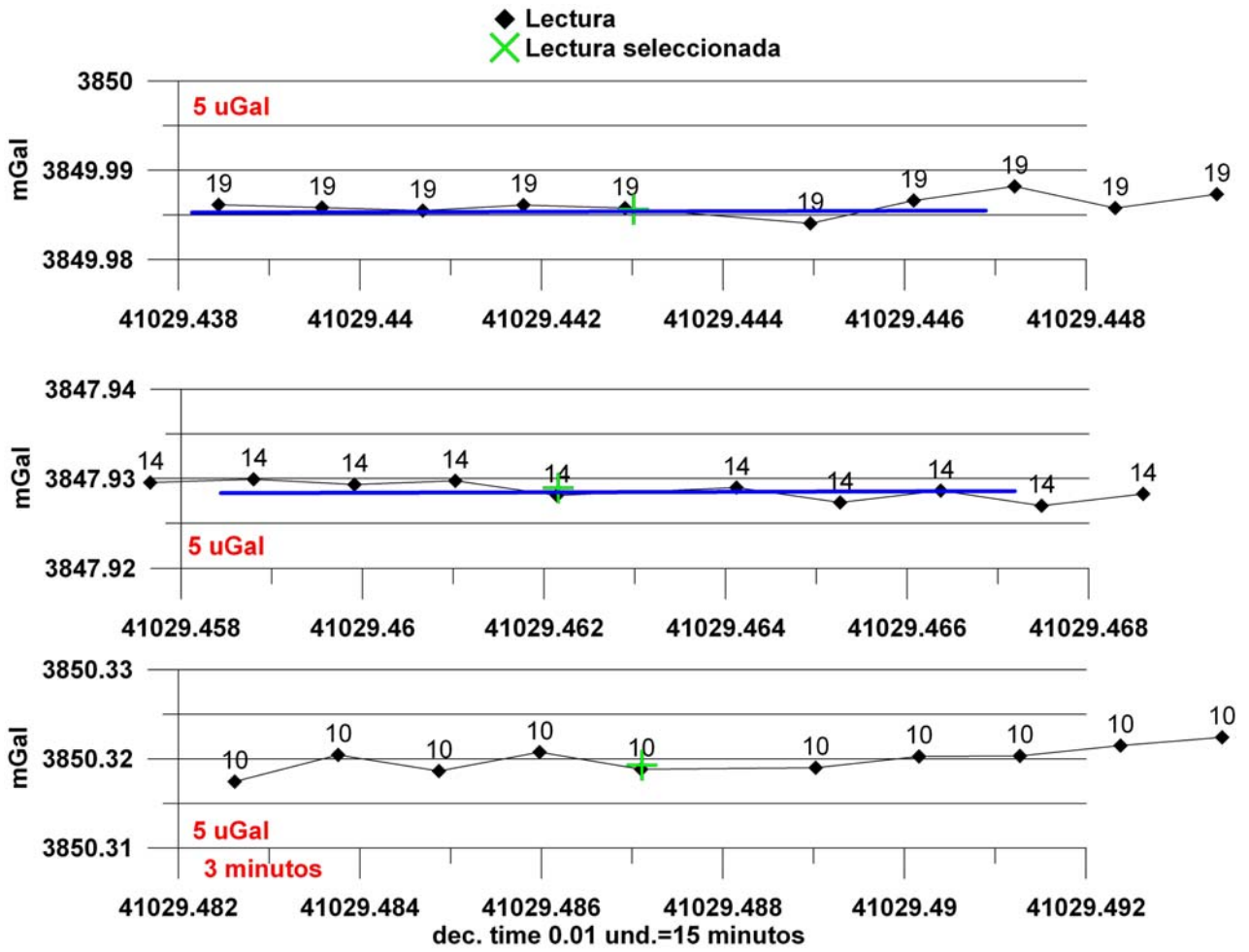
**BASE 100 día 1-6-2012 P6** deriva mGal/h= -0,007224

INFORME SOBRE EL ESTUDIO DE MICROGRAVIMETRÍA RELATIVA 4D EN EL KARST DE LA SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA). 2011-2012. J. L. Plata

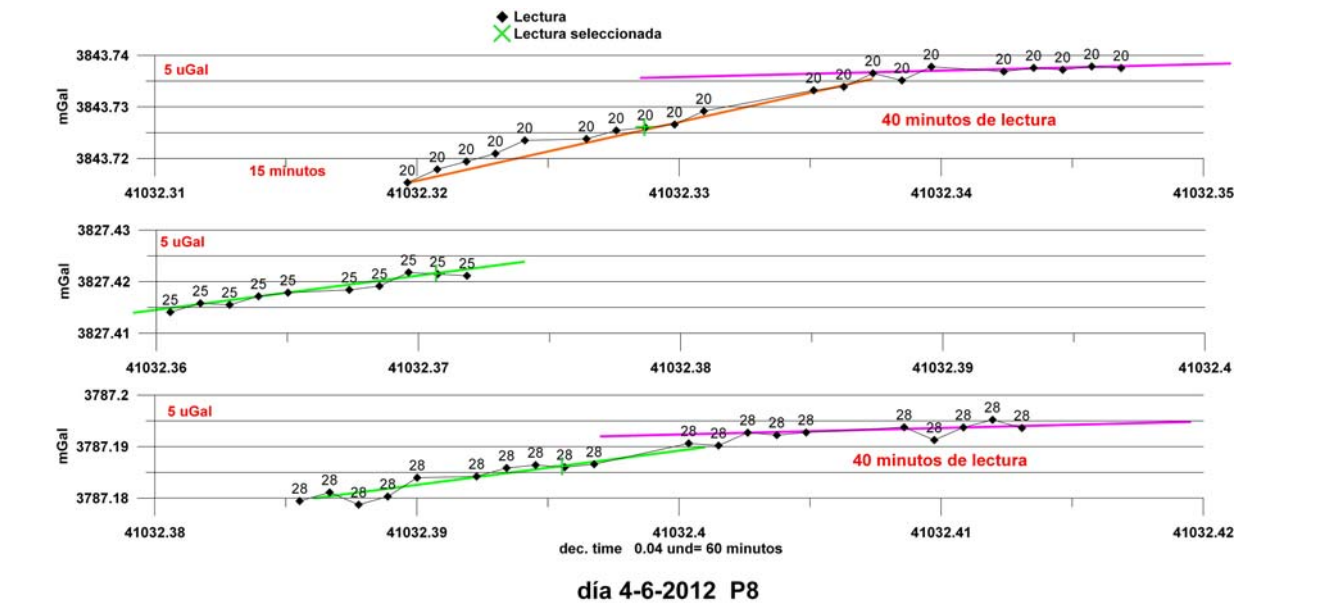
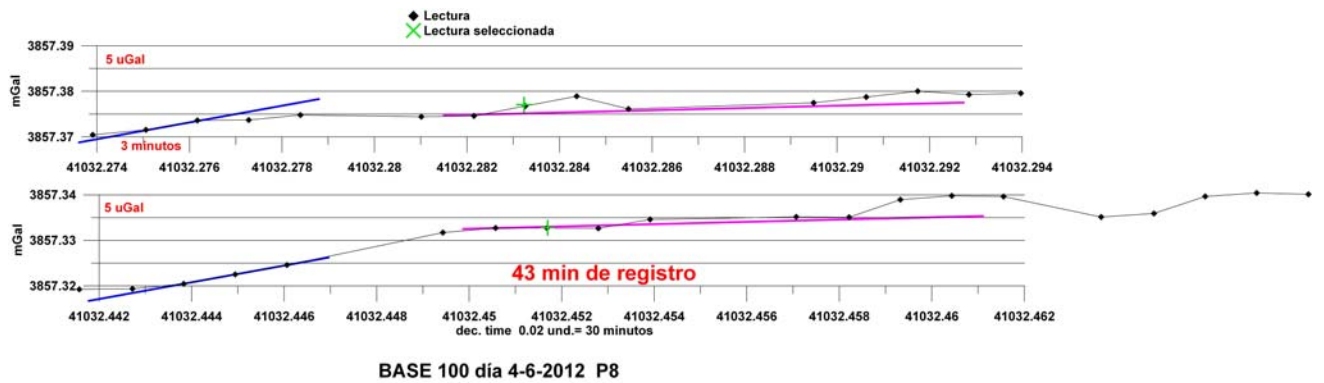
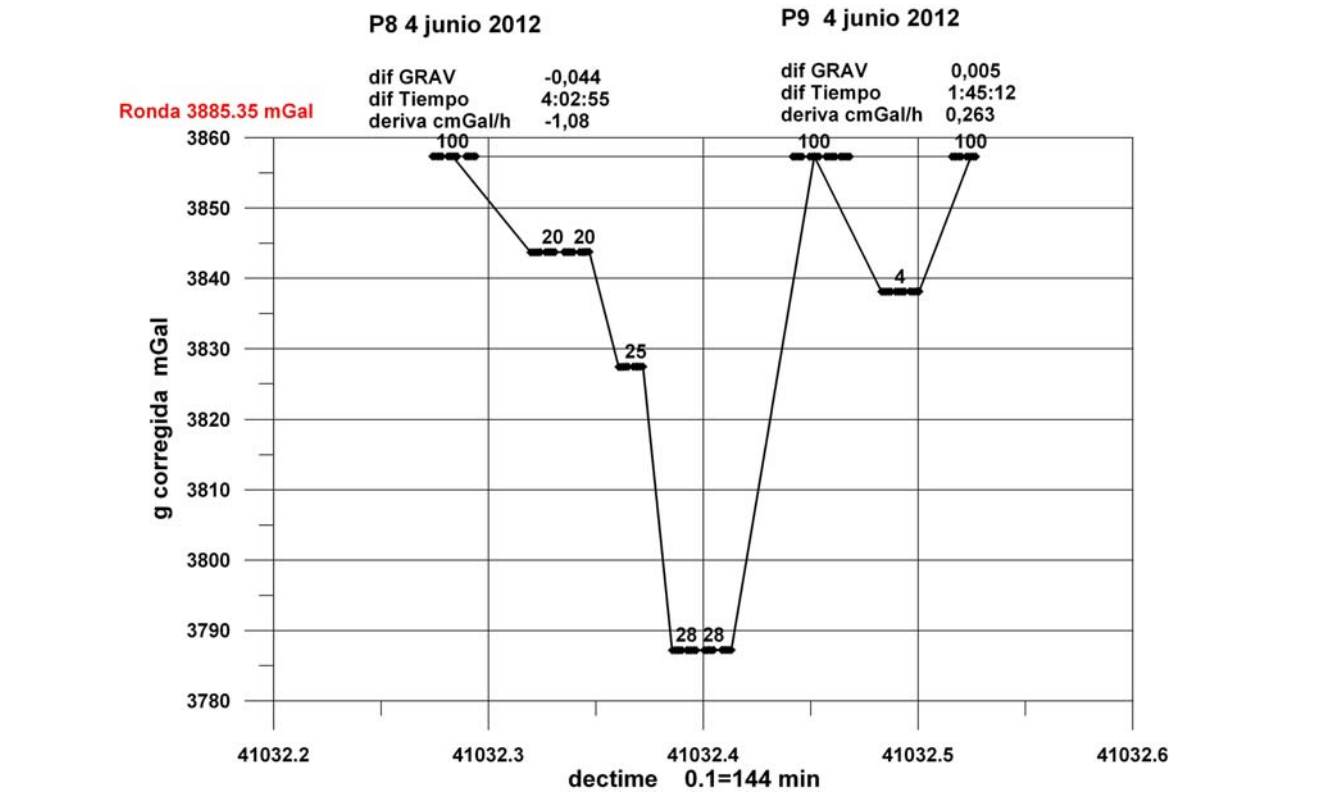


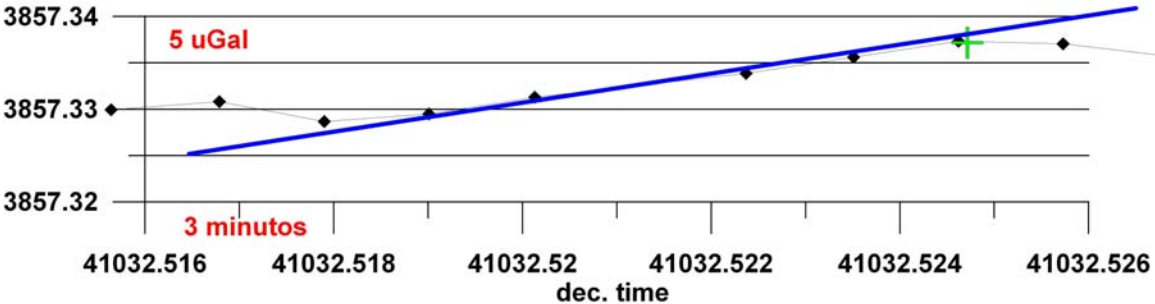
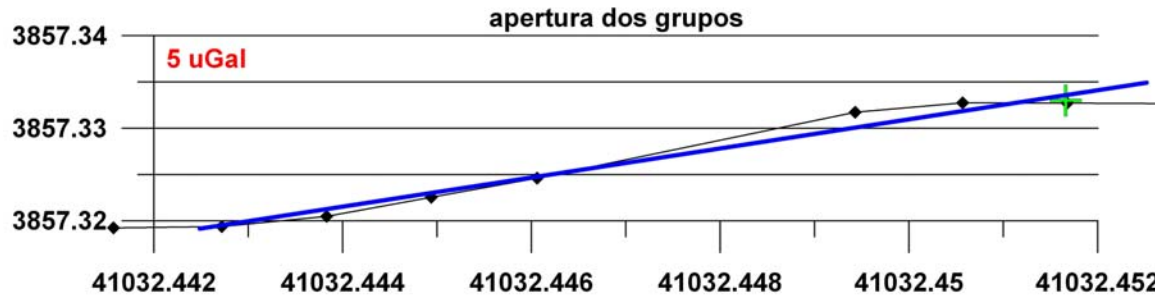
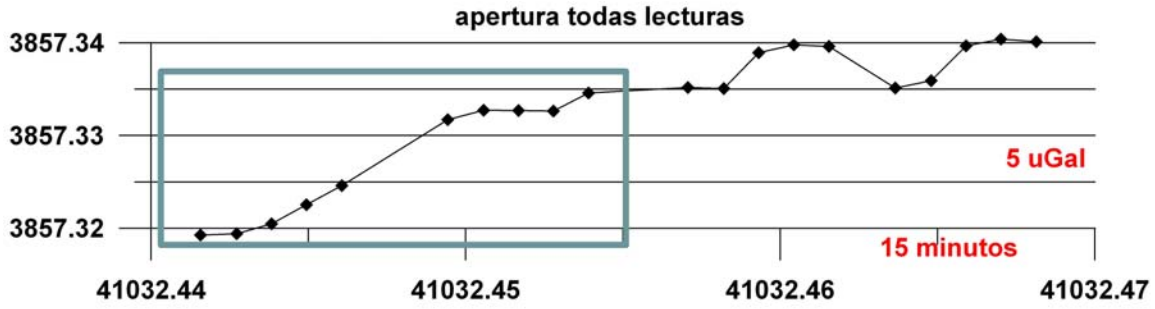




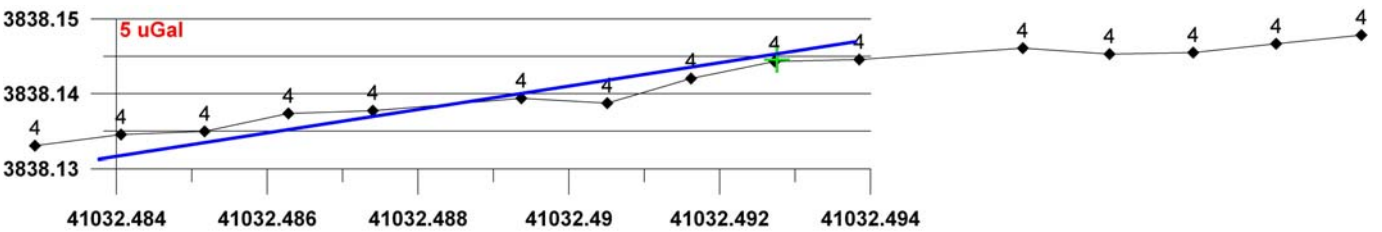


día 1-6-2012 P7





BASE 100 día 4-6-2012 P9 deriva mGal/h 0,002636



día 4-6-2012 P9

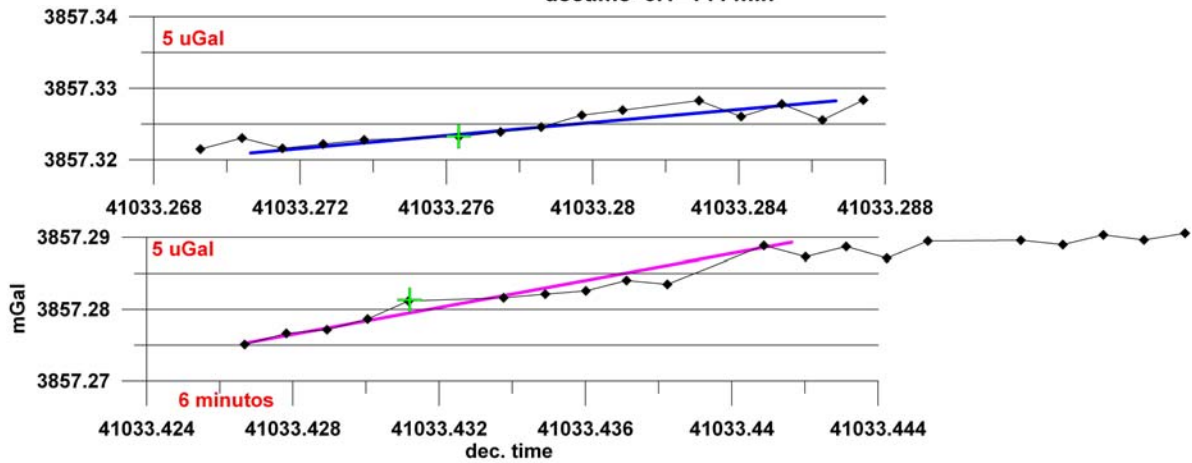
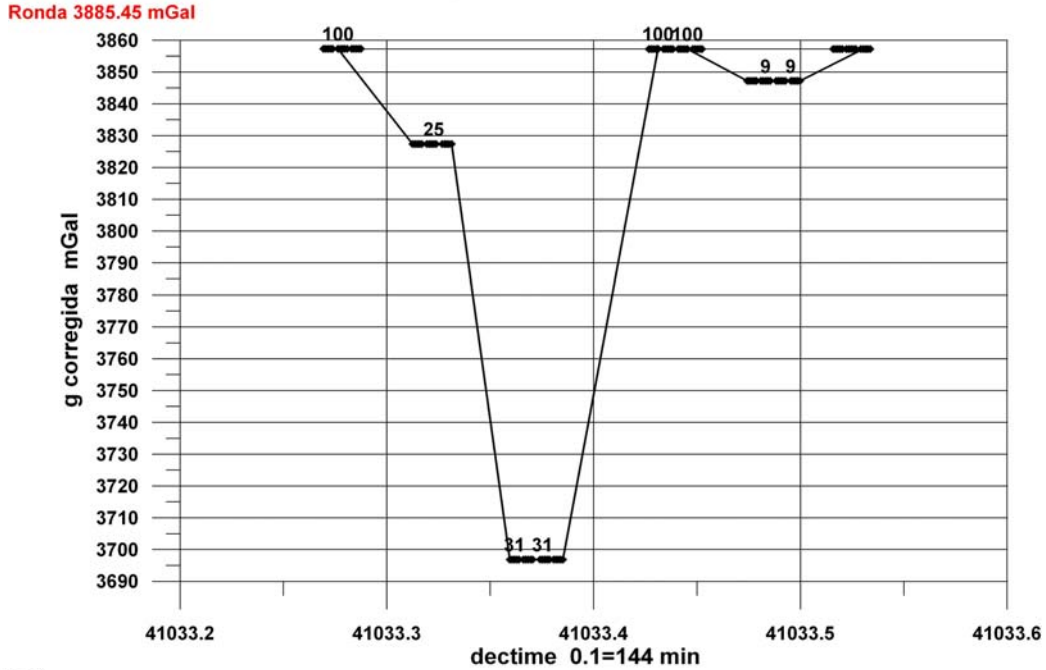


P10 5 junio 2012

dif GRAV -0,042  
 dif Tiempo 3:43:18  
 deriva cmGal/h -1,13

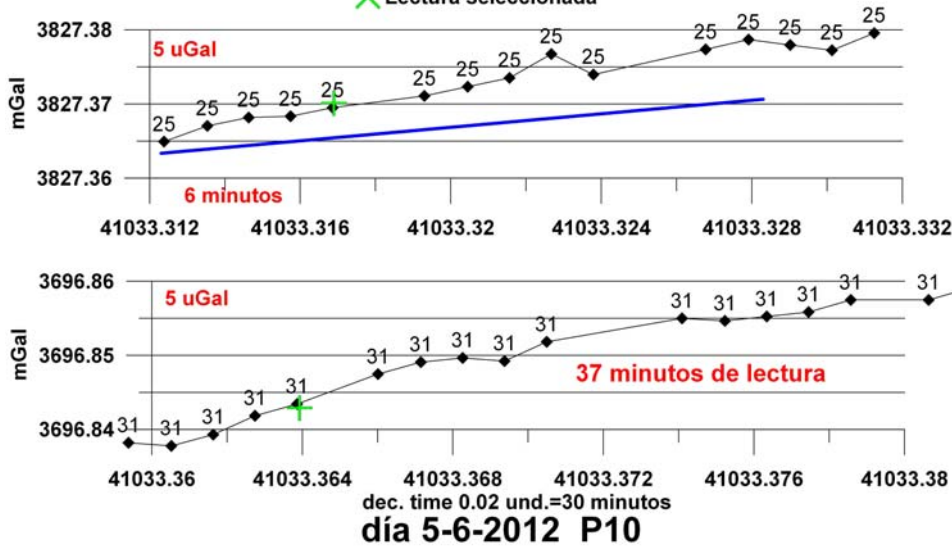
P11 5 junio 2012

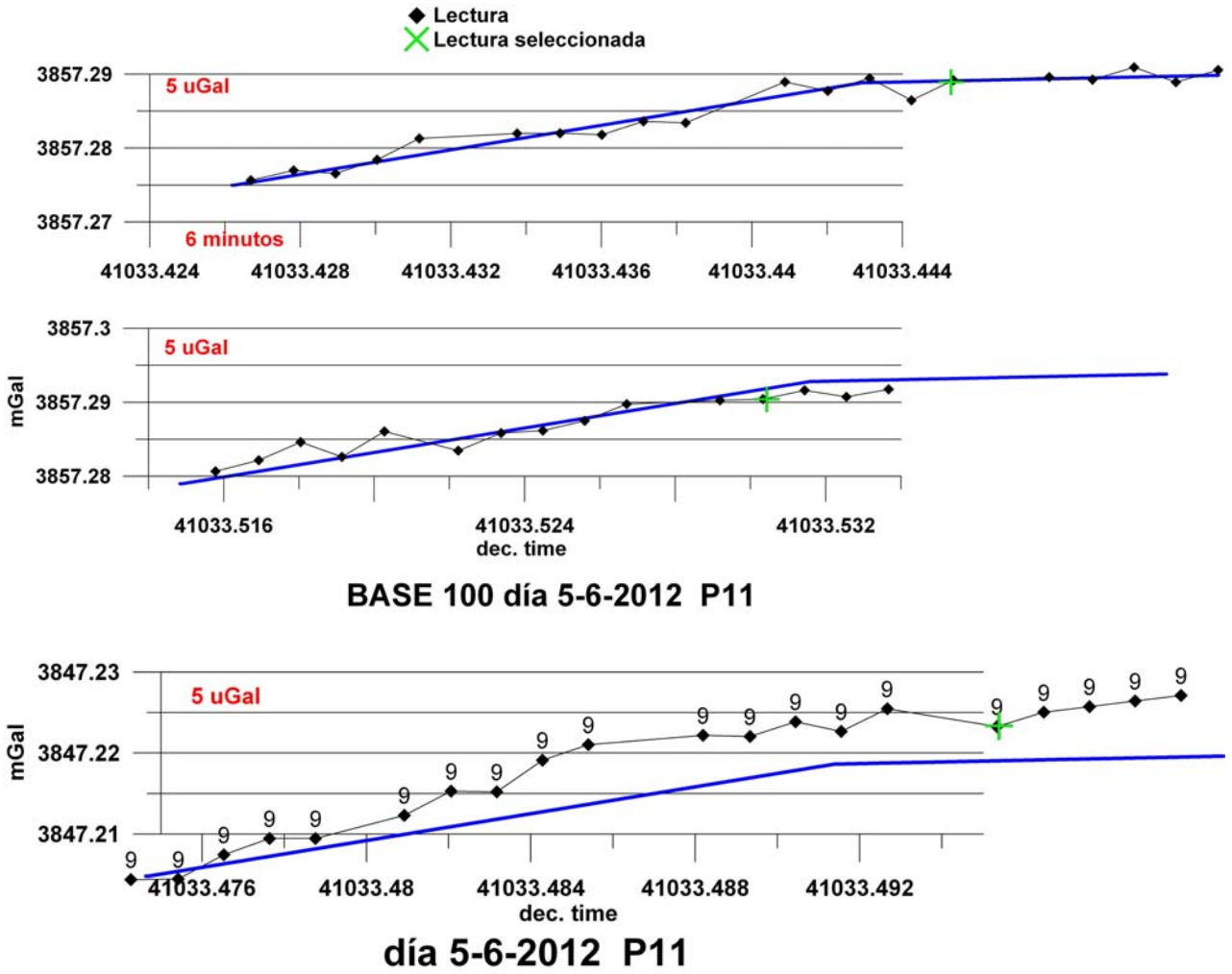
dif GRAV 0,001  
 dif Tiempo 2:02:33  
 deriva cmGal/h 0,061

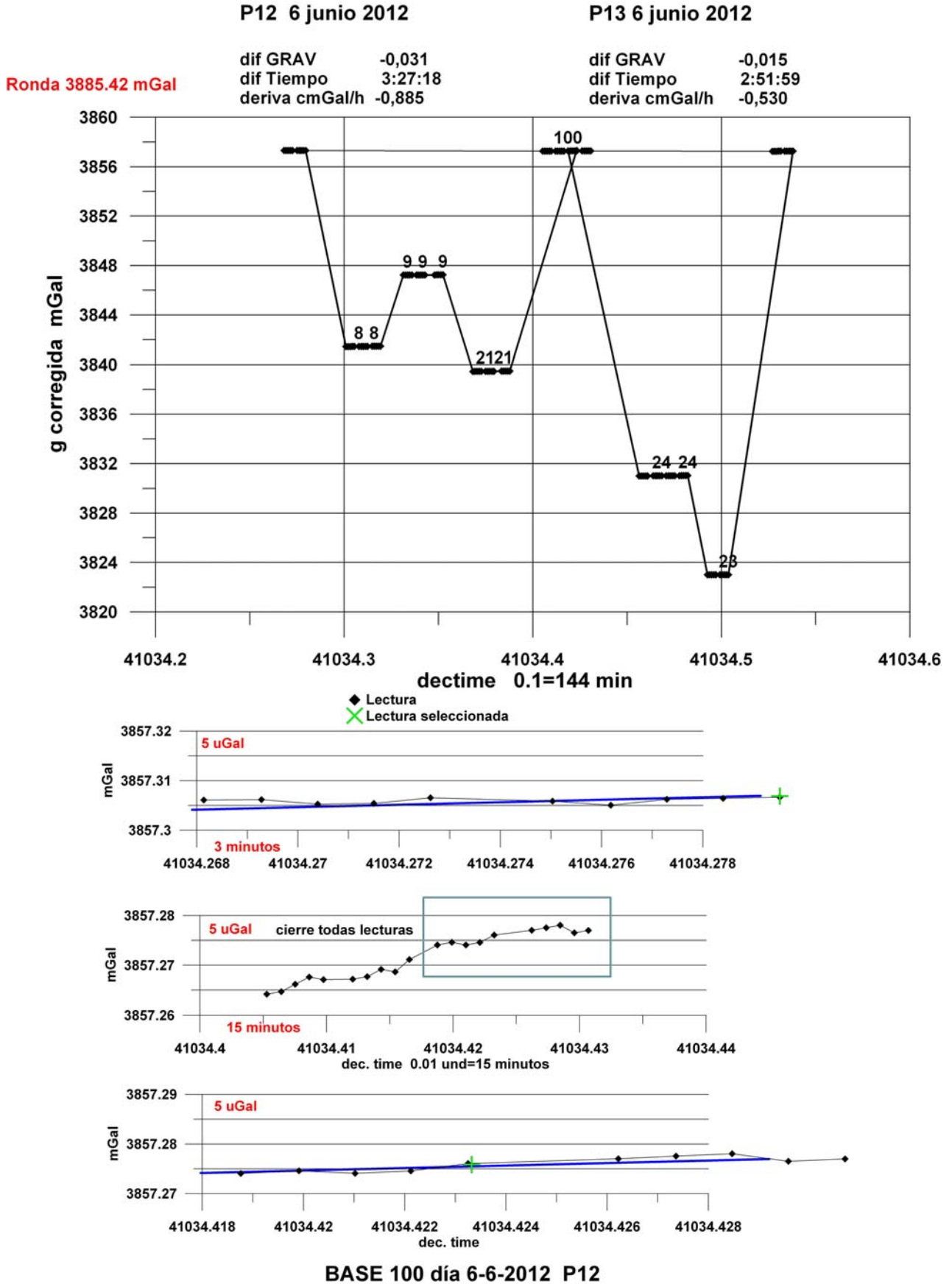


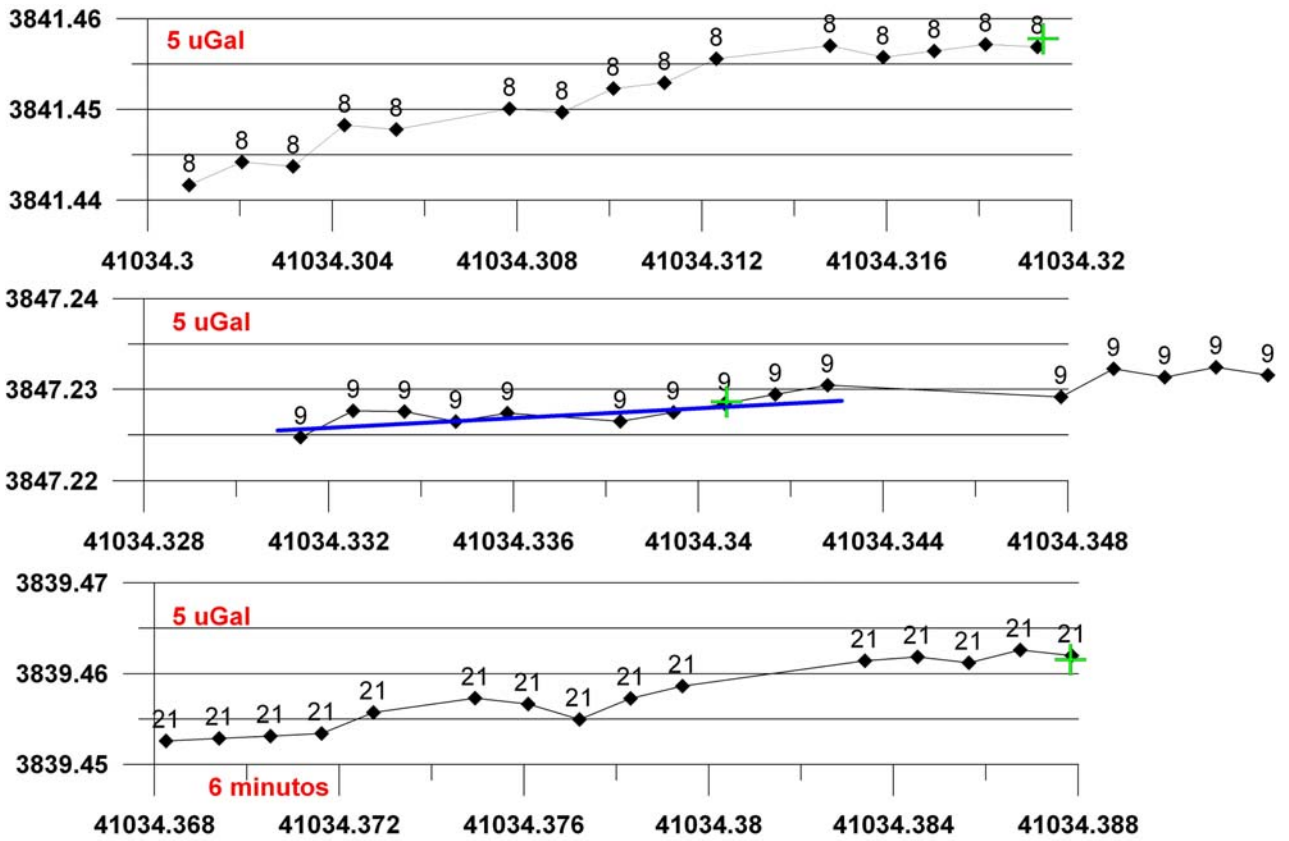
BASE 100 día 5-6-2012 P10

◆ Lectura  
 X Lectura seleccionada



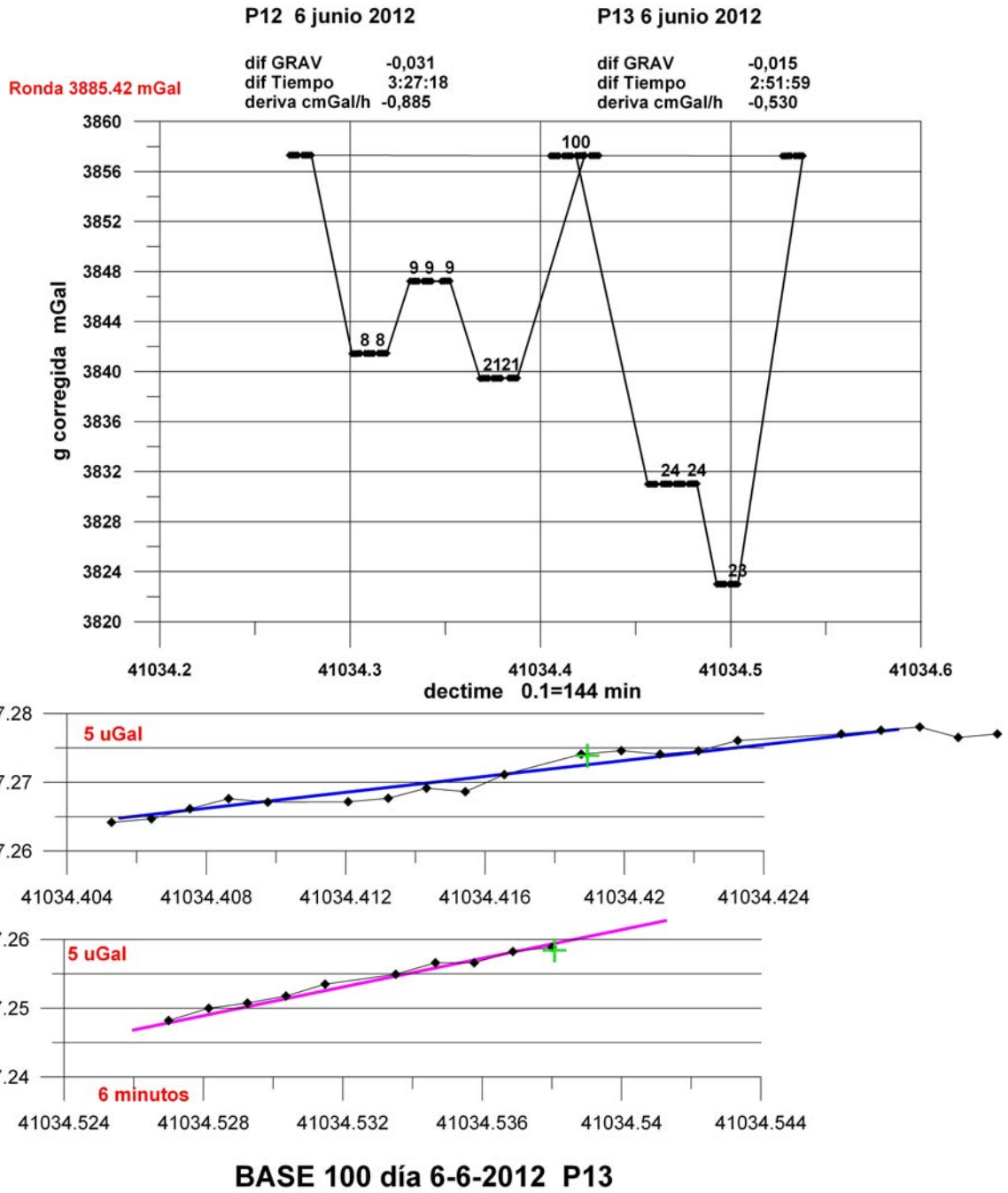


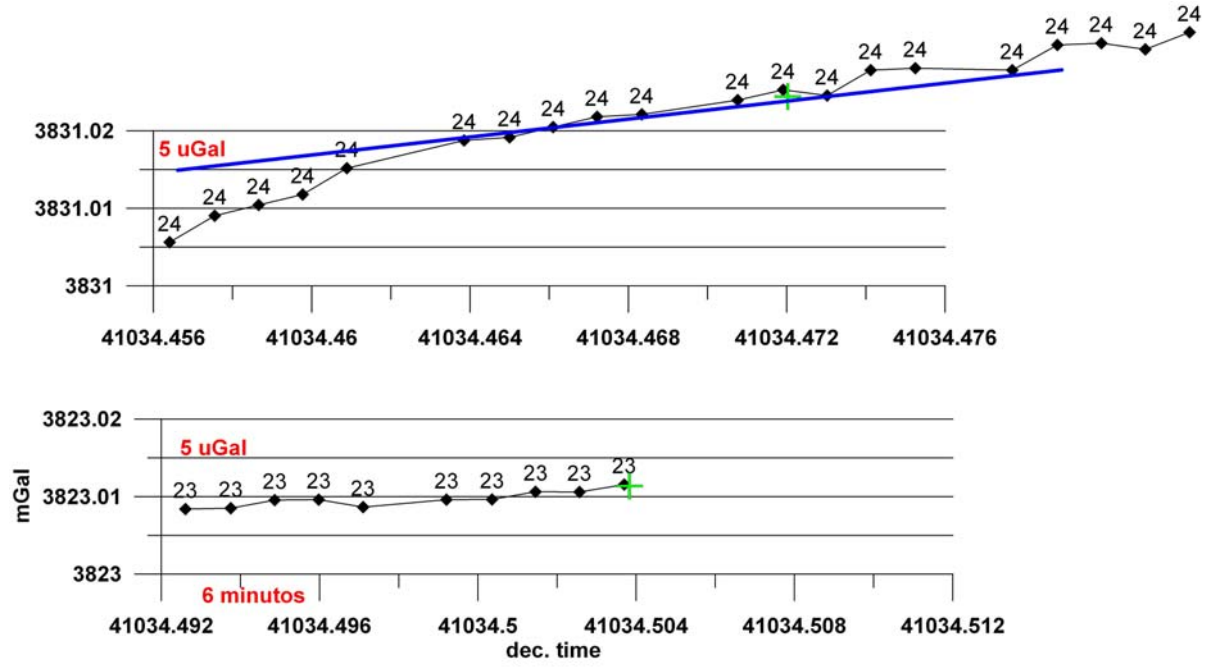




**día 6-6-2012 P12**



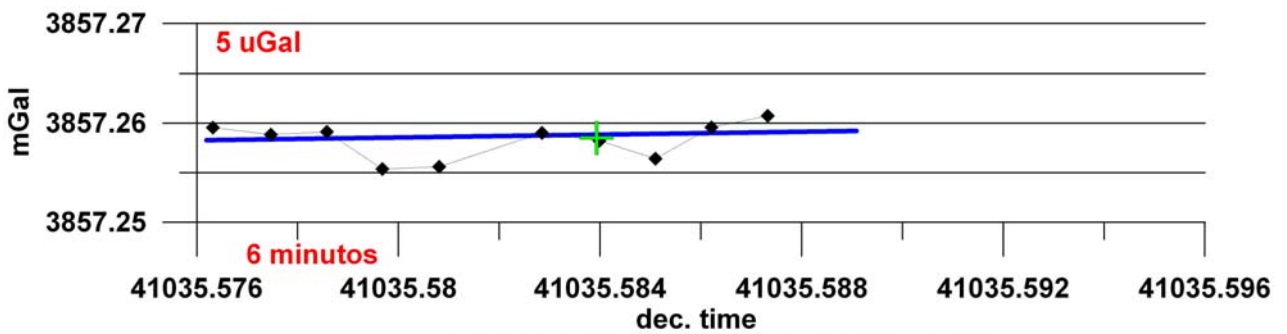
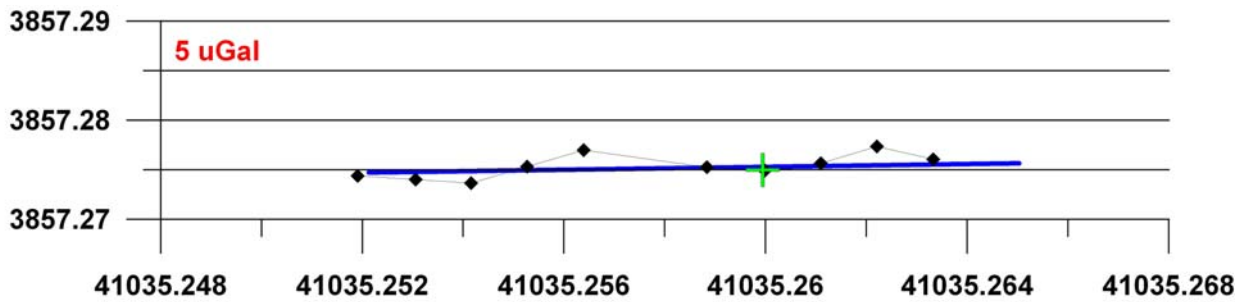
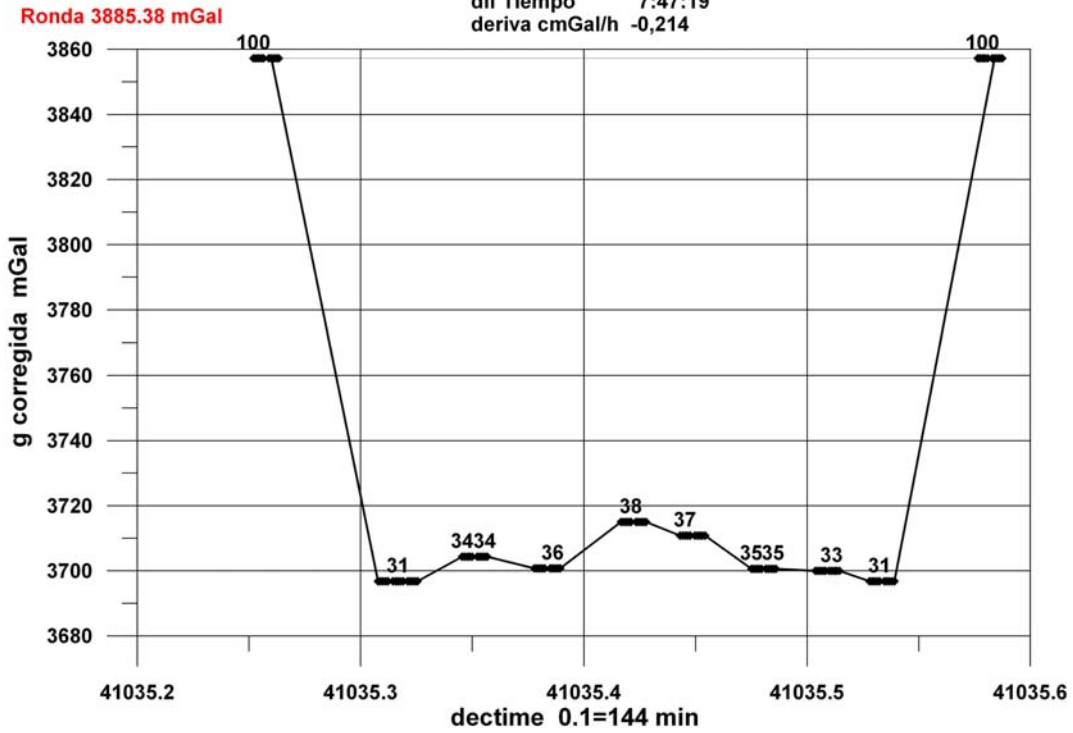




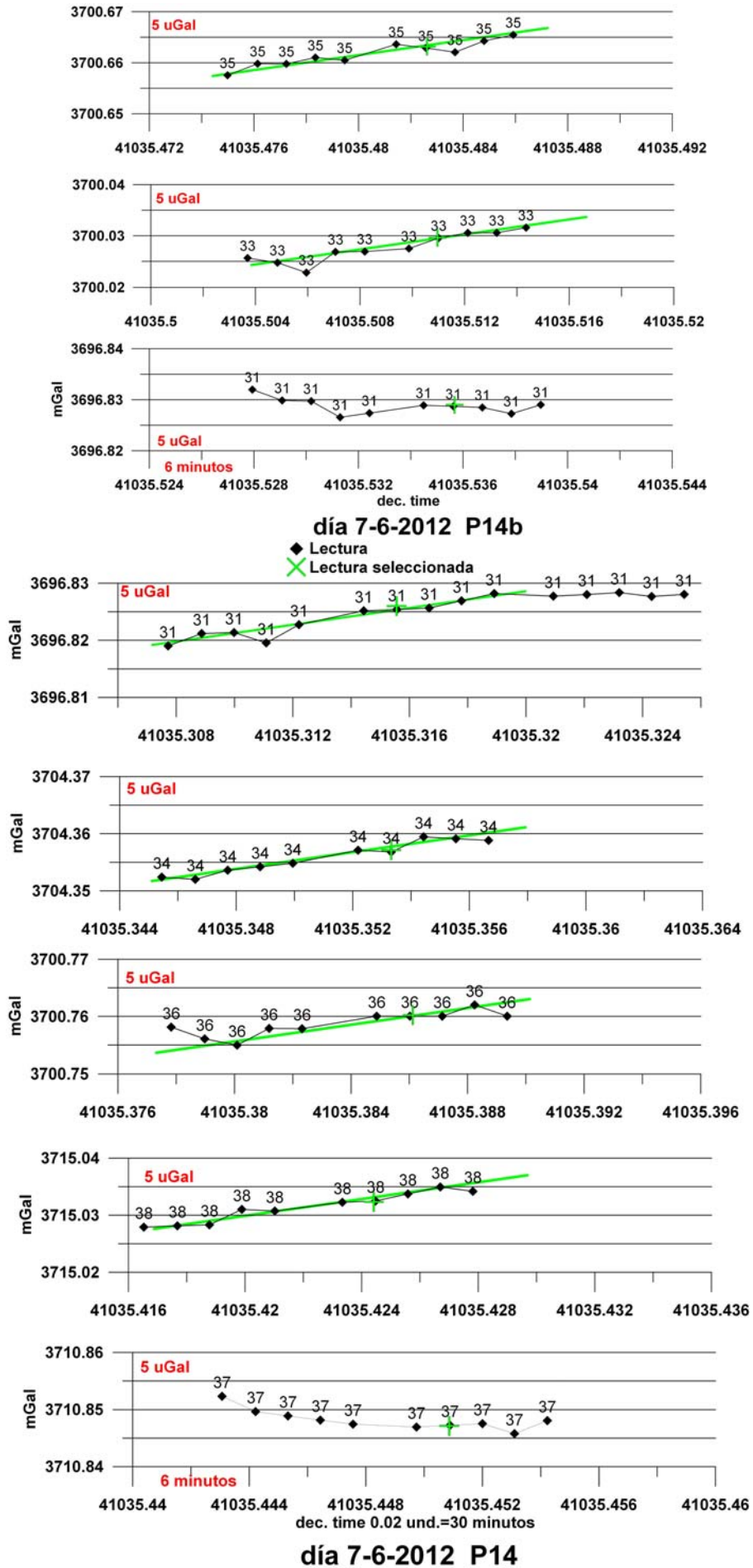
día 6-6-2012 P13

P14 7 junio 2012

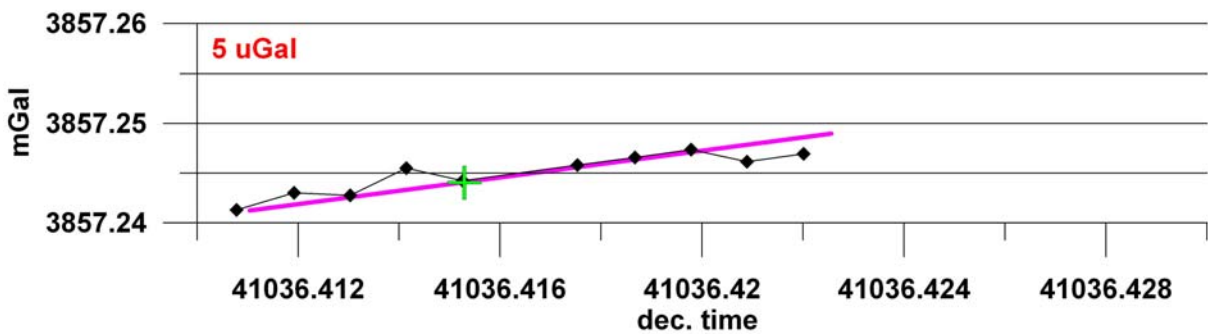
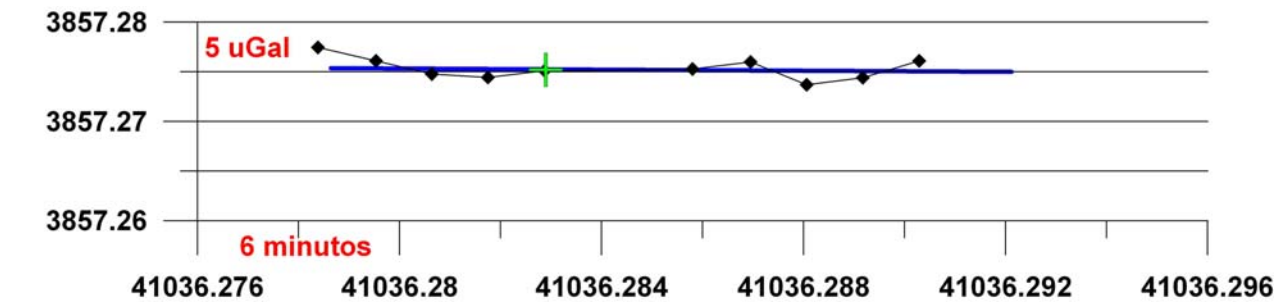
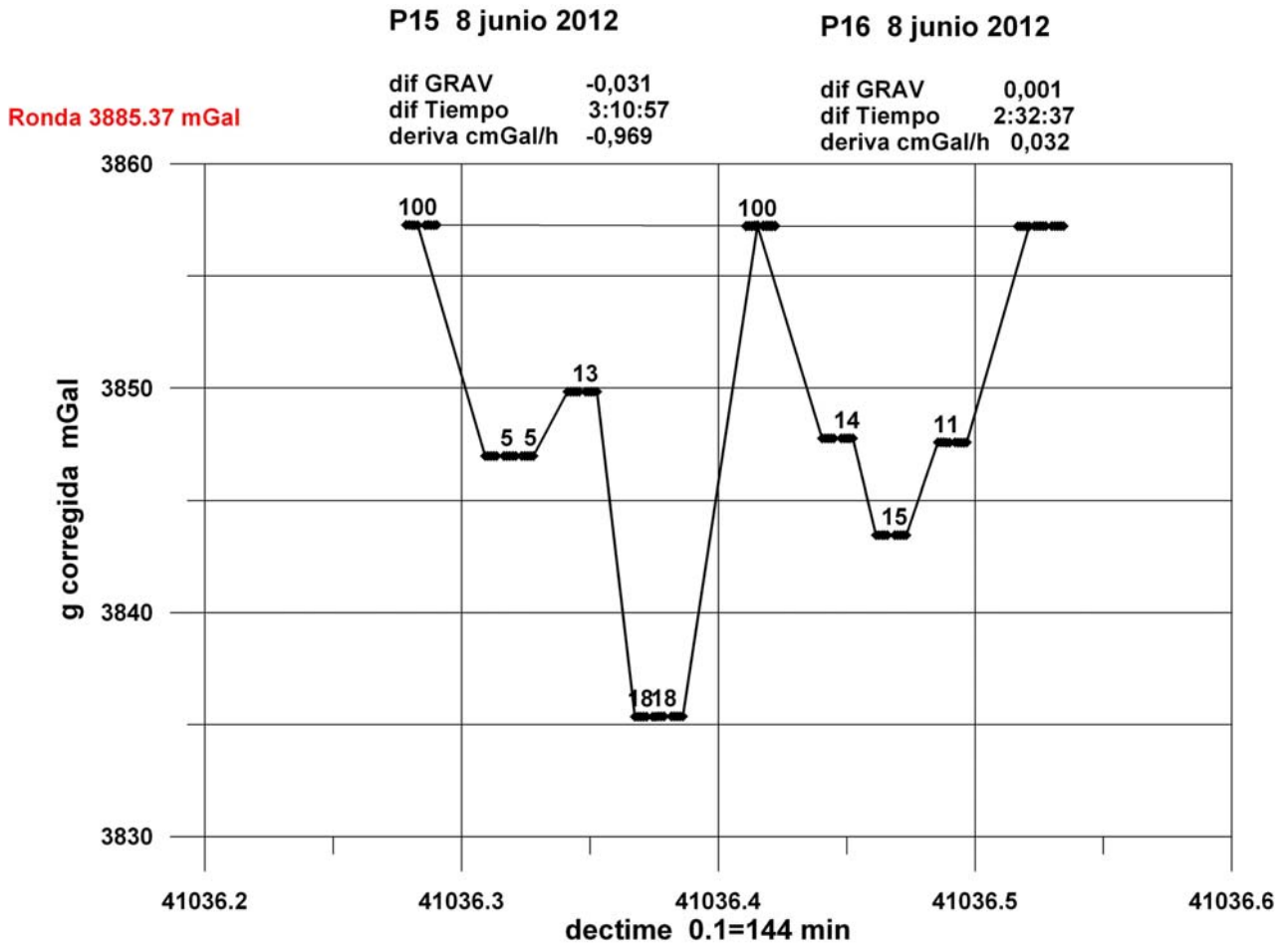
dif GRAV -0,017  
 dif Tiempo 7:47:19  
 deriva cmGal/h -0,214



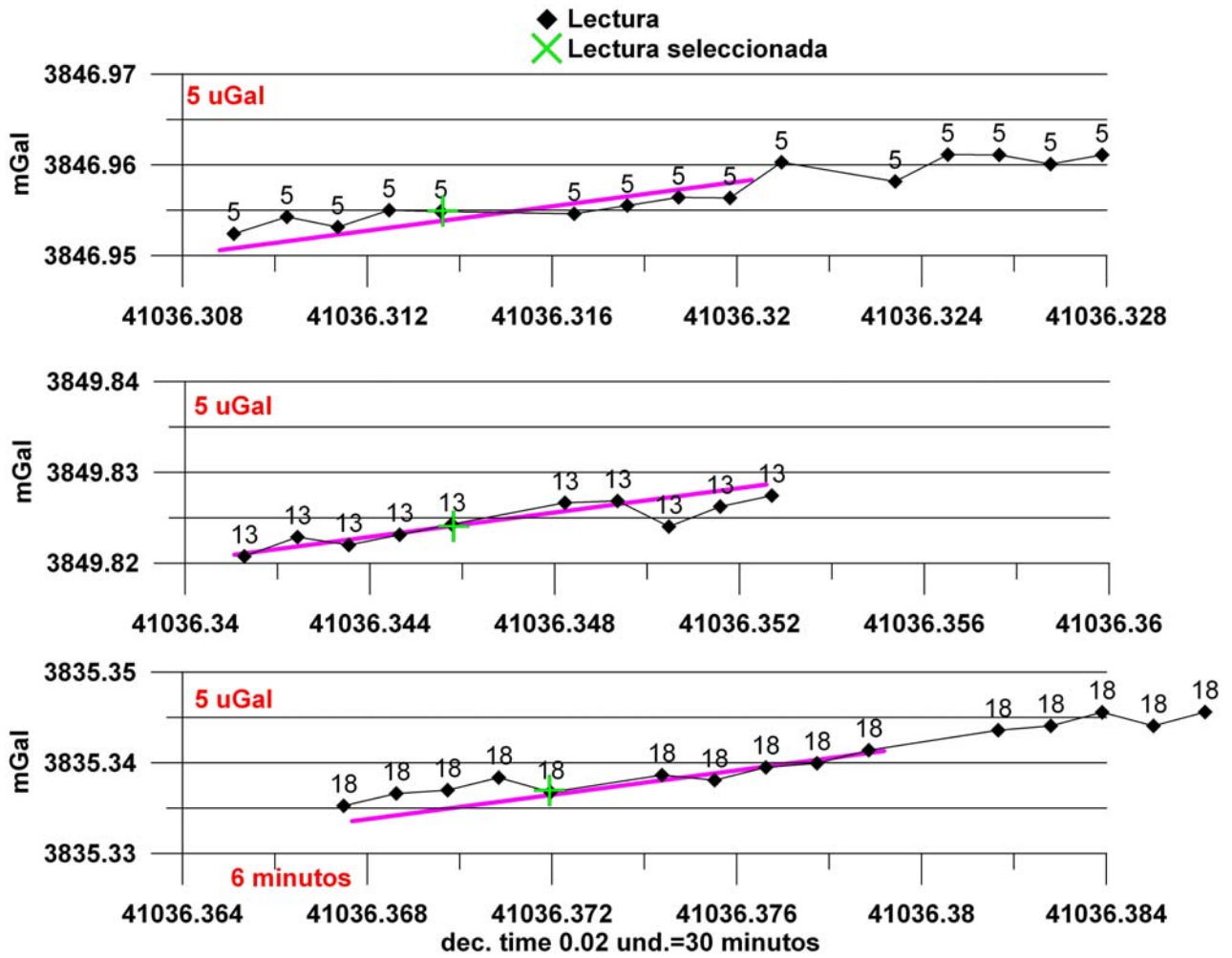
BASE 100 día 7-6-2012 P14







**BASE 100 día 8-6-2012 P15** deriva mGal/h -0,00969



**día 8-6-2012 P15**

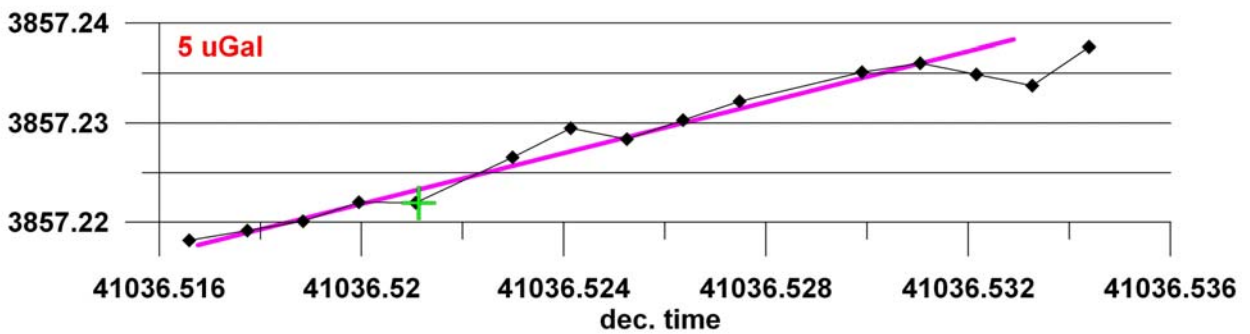
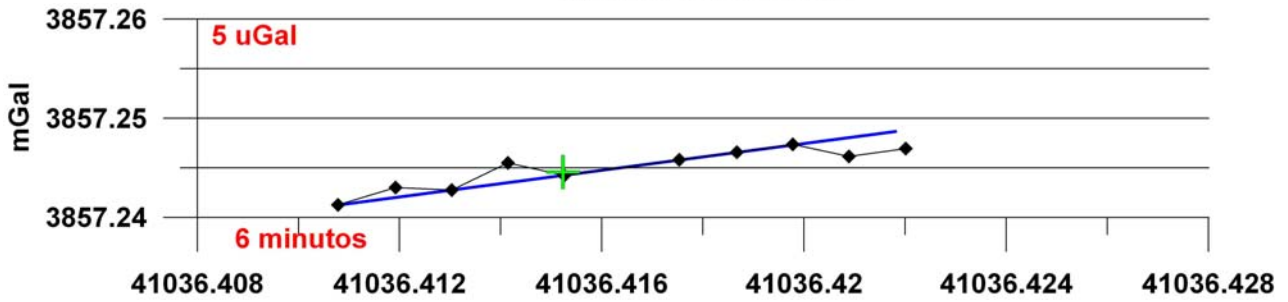
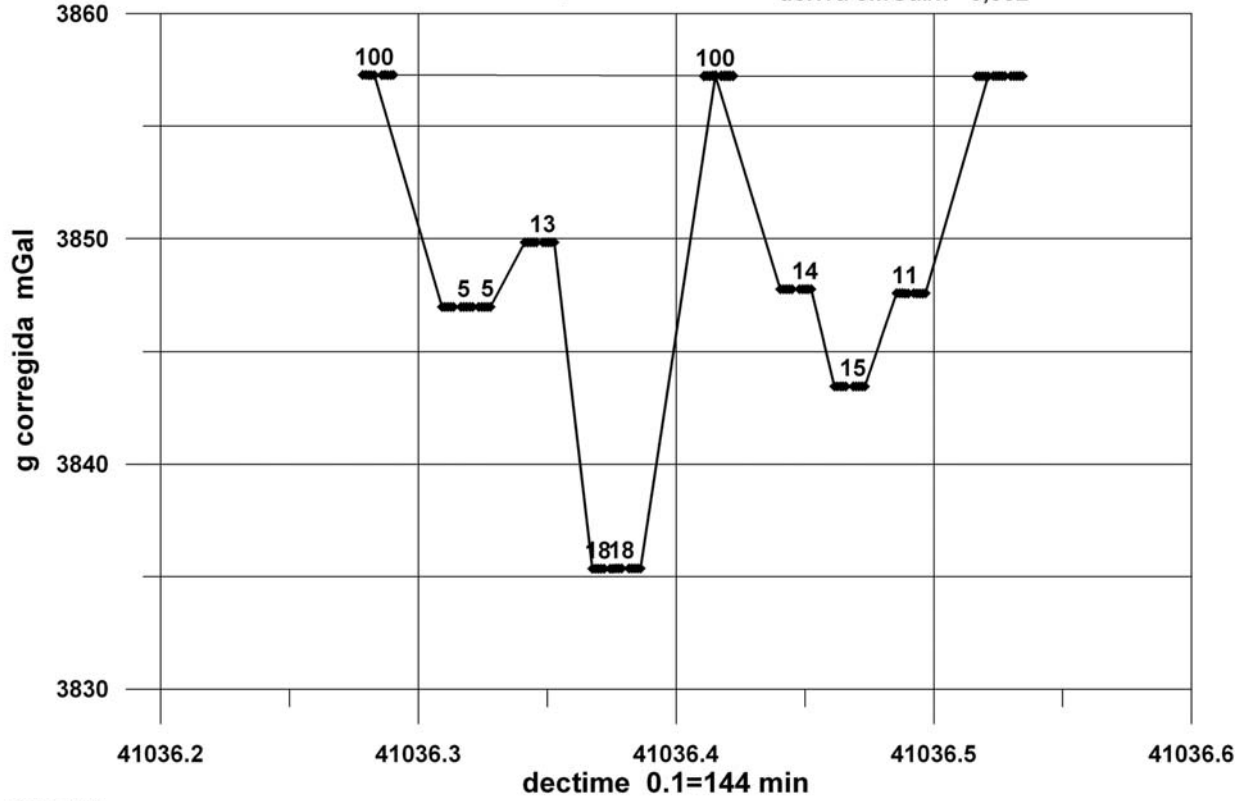
**P15 8 junio 2012**

**P16 8 junio 2012**

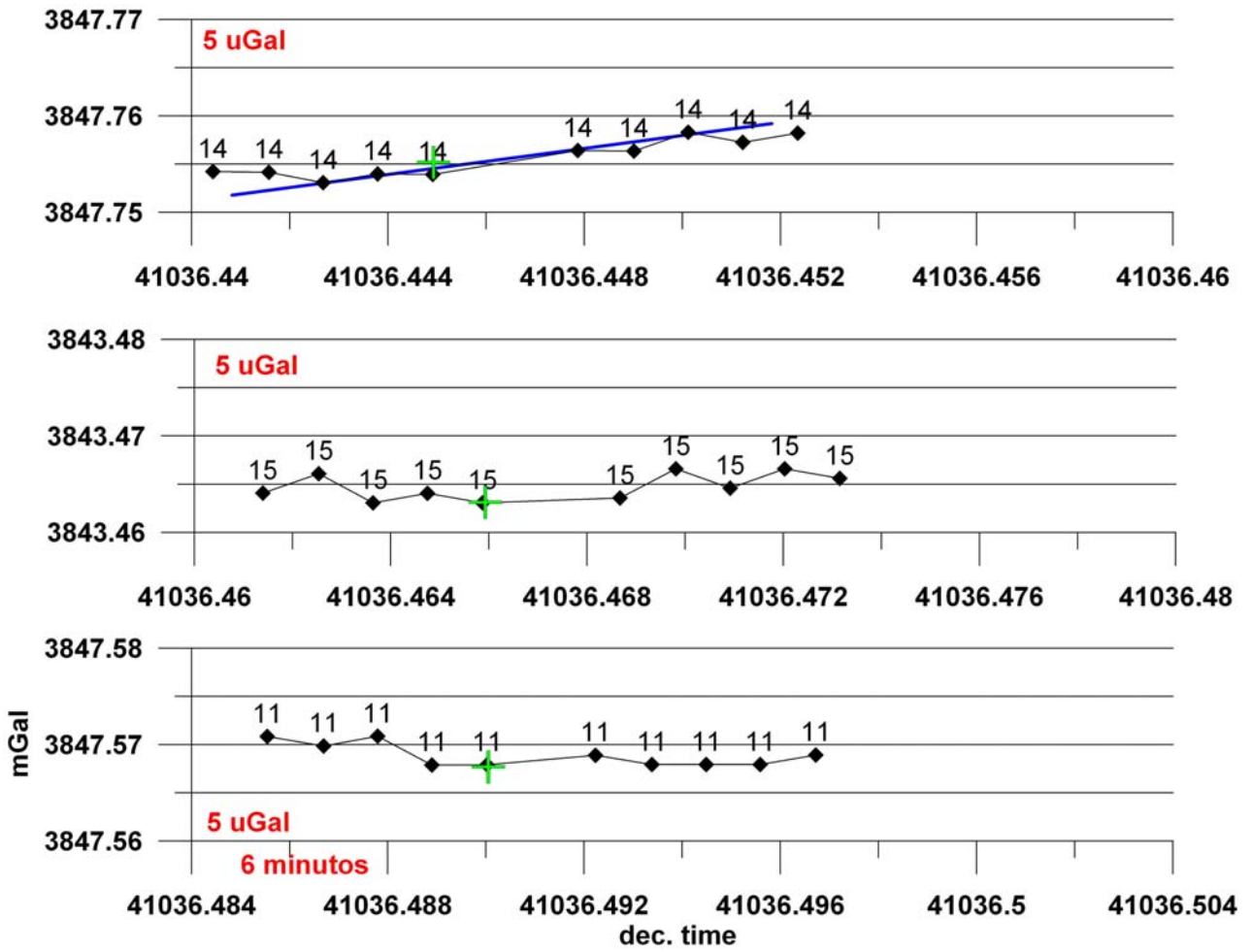
Ronda 3885.37 mGal

dif GRAV -0,031  
 dif Tiempo 3:10:57  
 deriva cmGal/h -0,969

dif GRAV 0,001  
 dif Tiempo 2:32:37  
 deriva cmGal/h 0,032

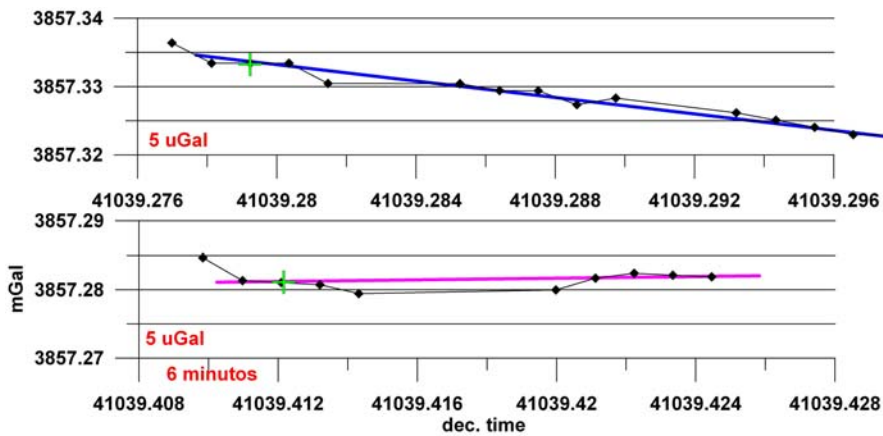
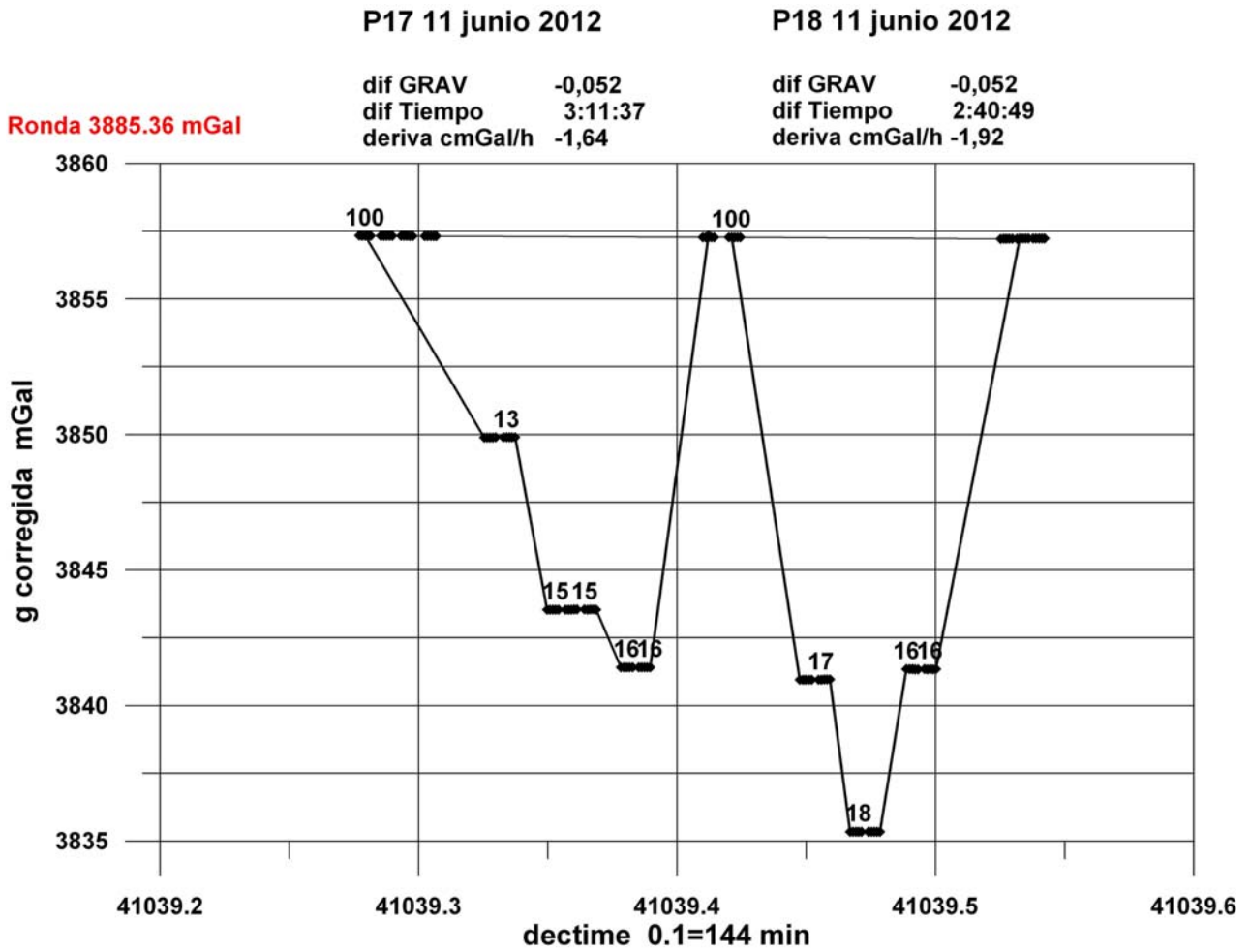


**BASE 100 día 8-6-2012 P16**

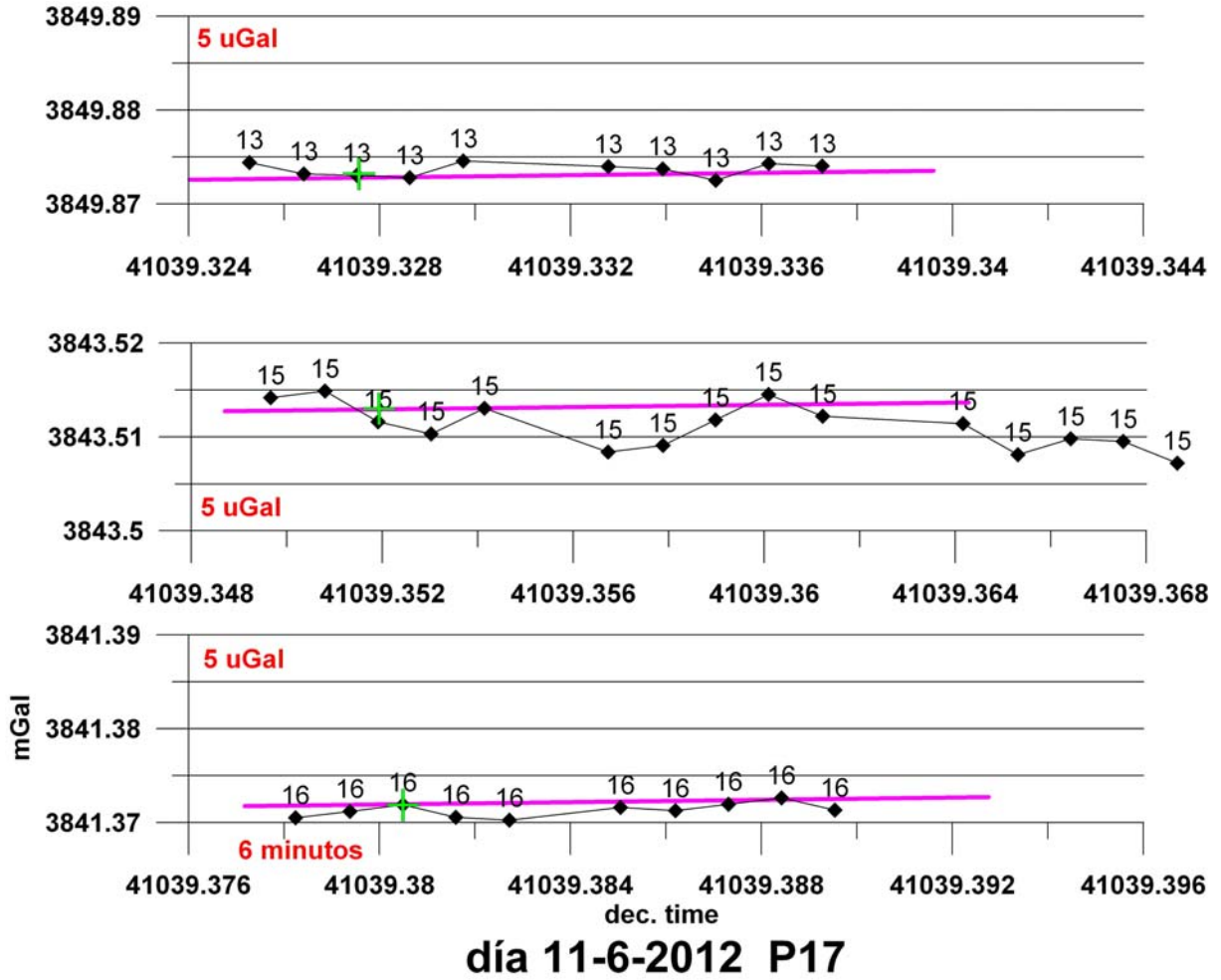


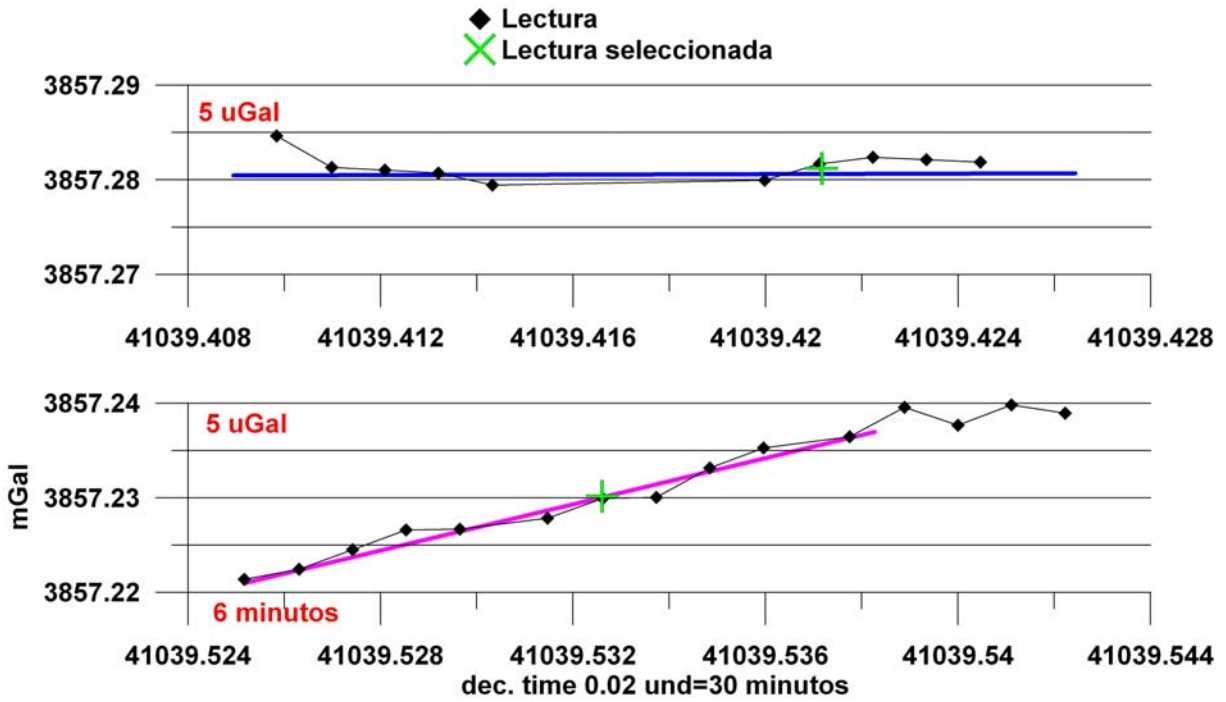
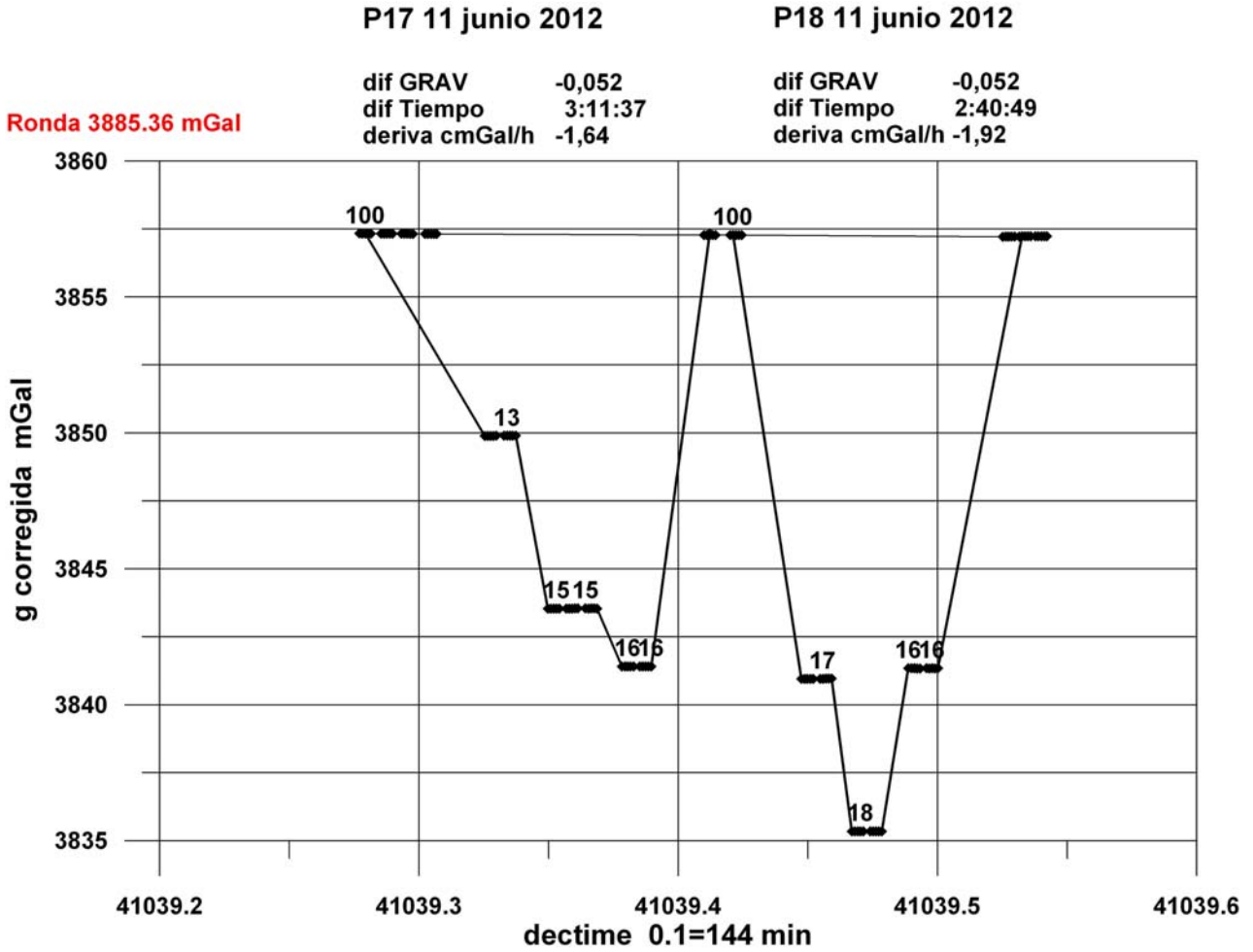
**día 8-6-2012 P16**



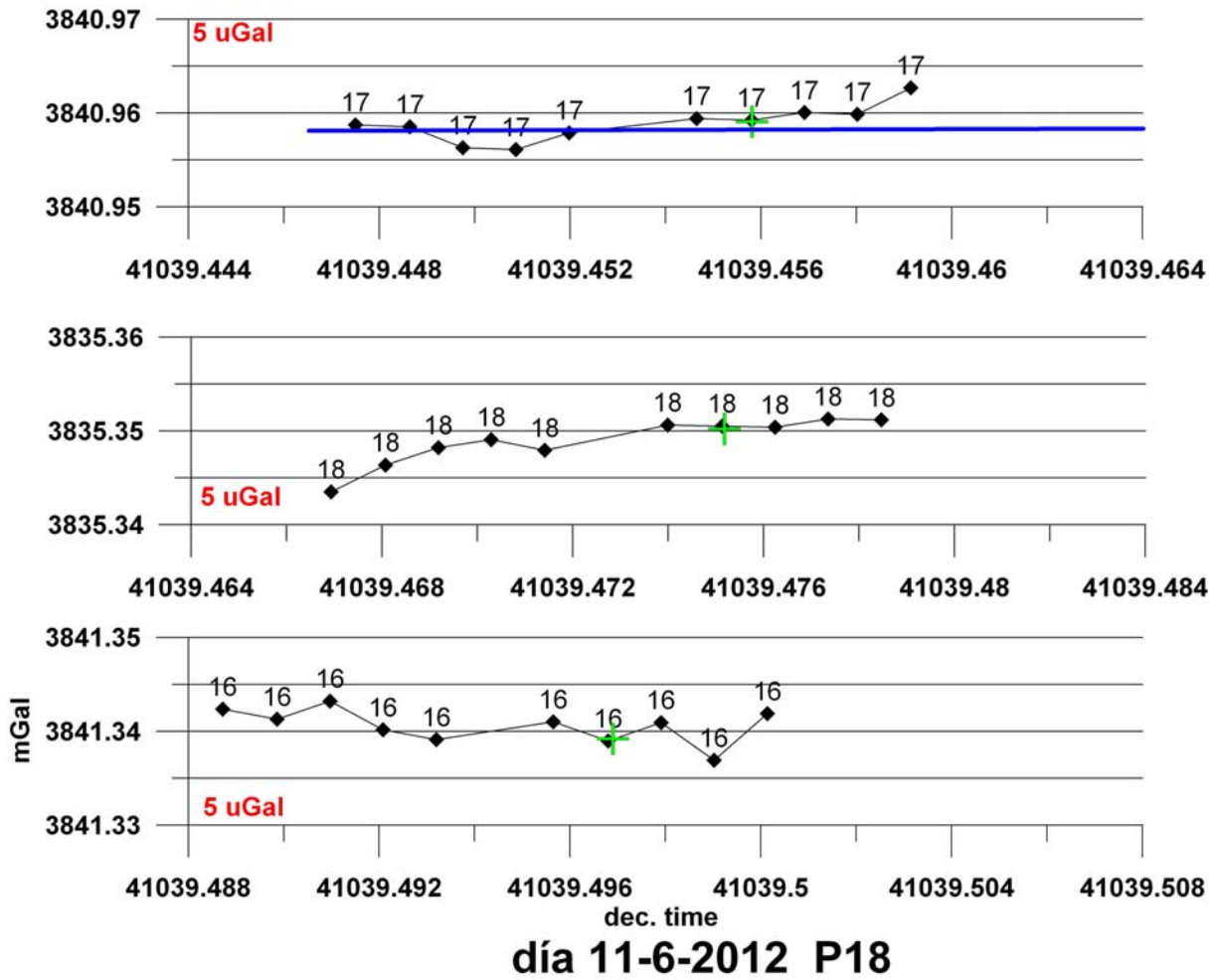


**BASE 100 día 11-6-2012 P17**

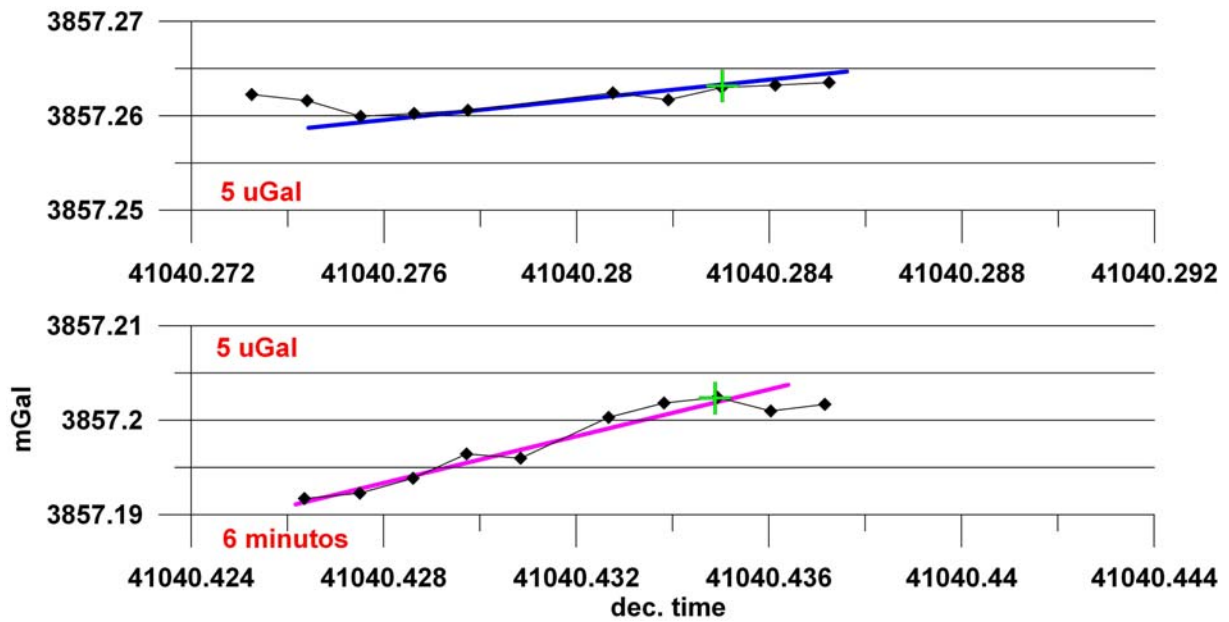
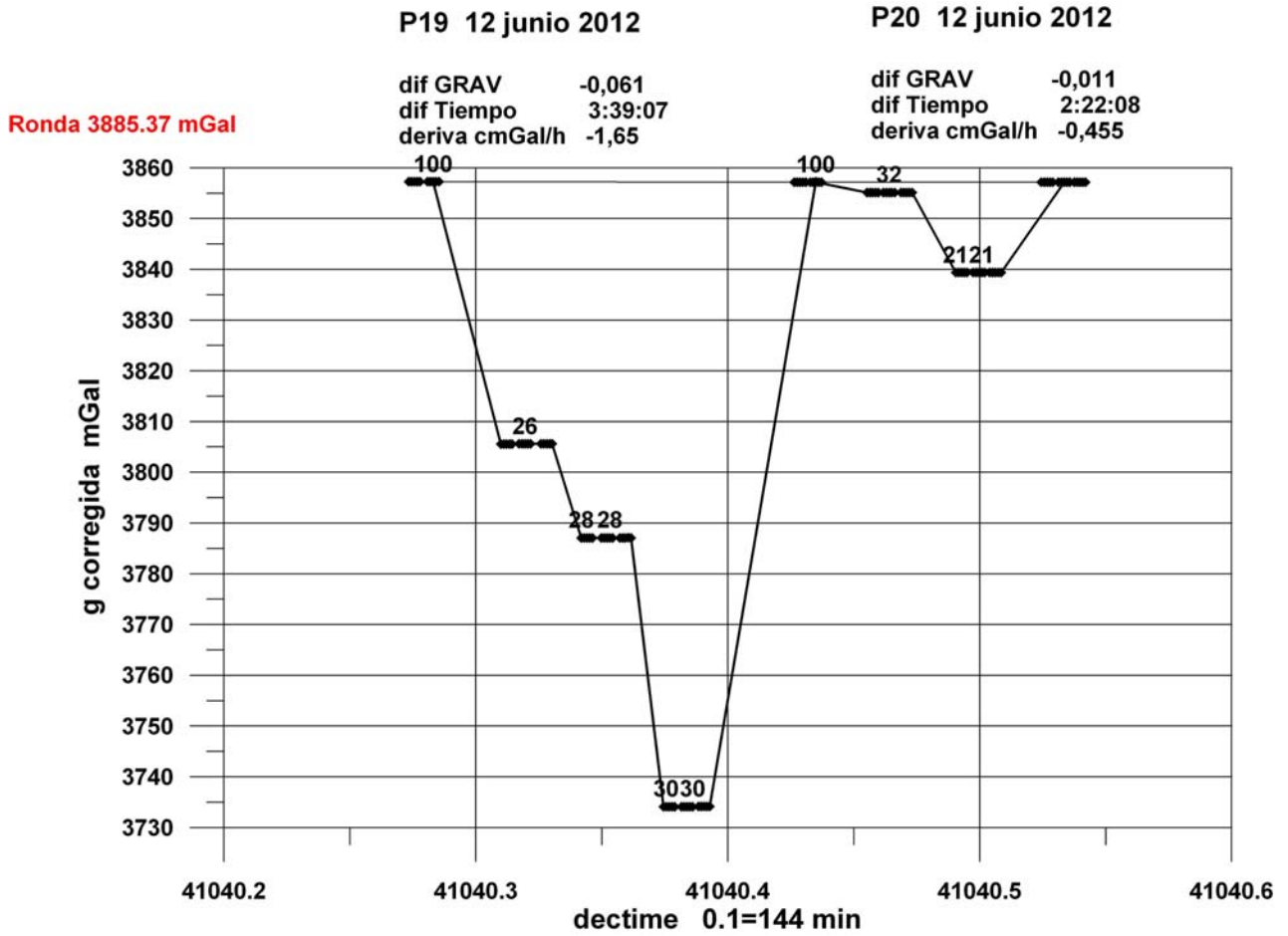




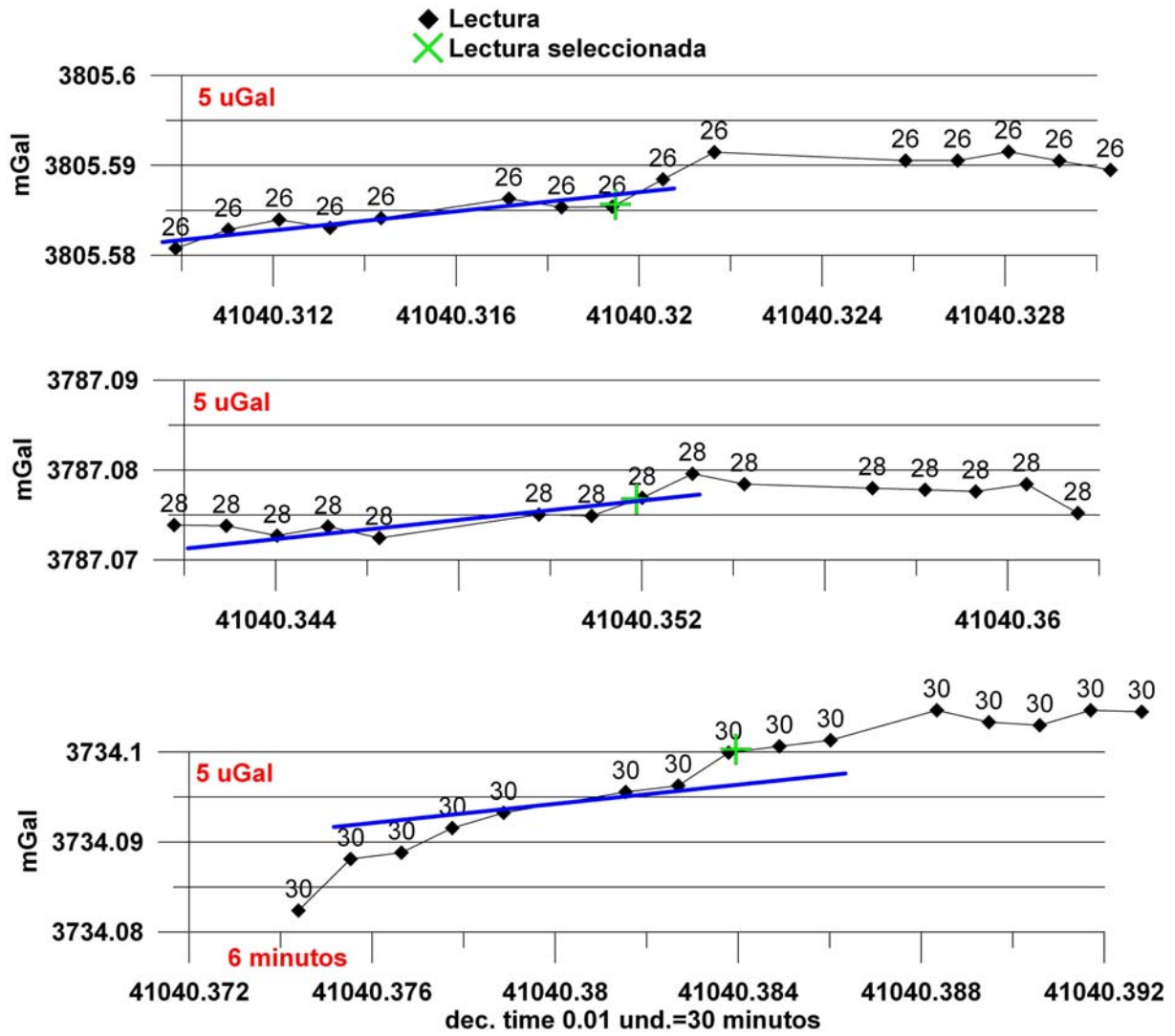
**BASE 100 día 11-6-2012 P18**



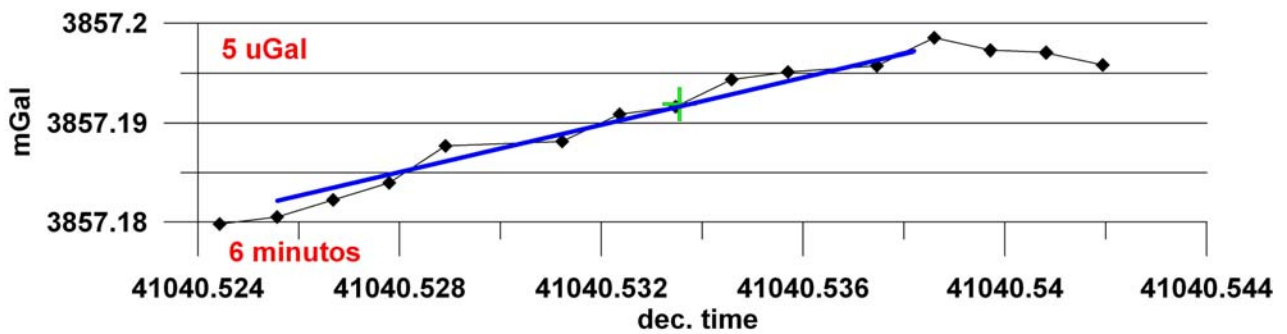
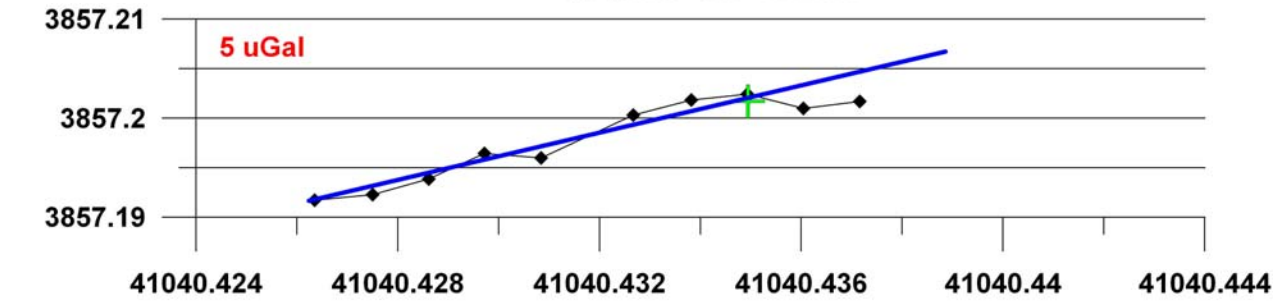
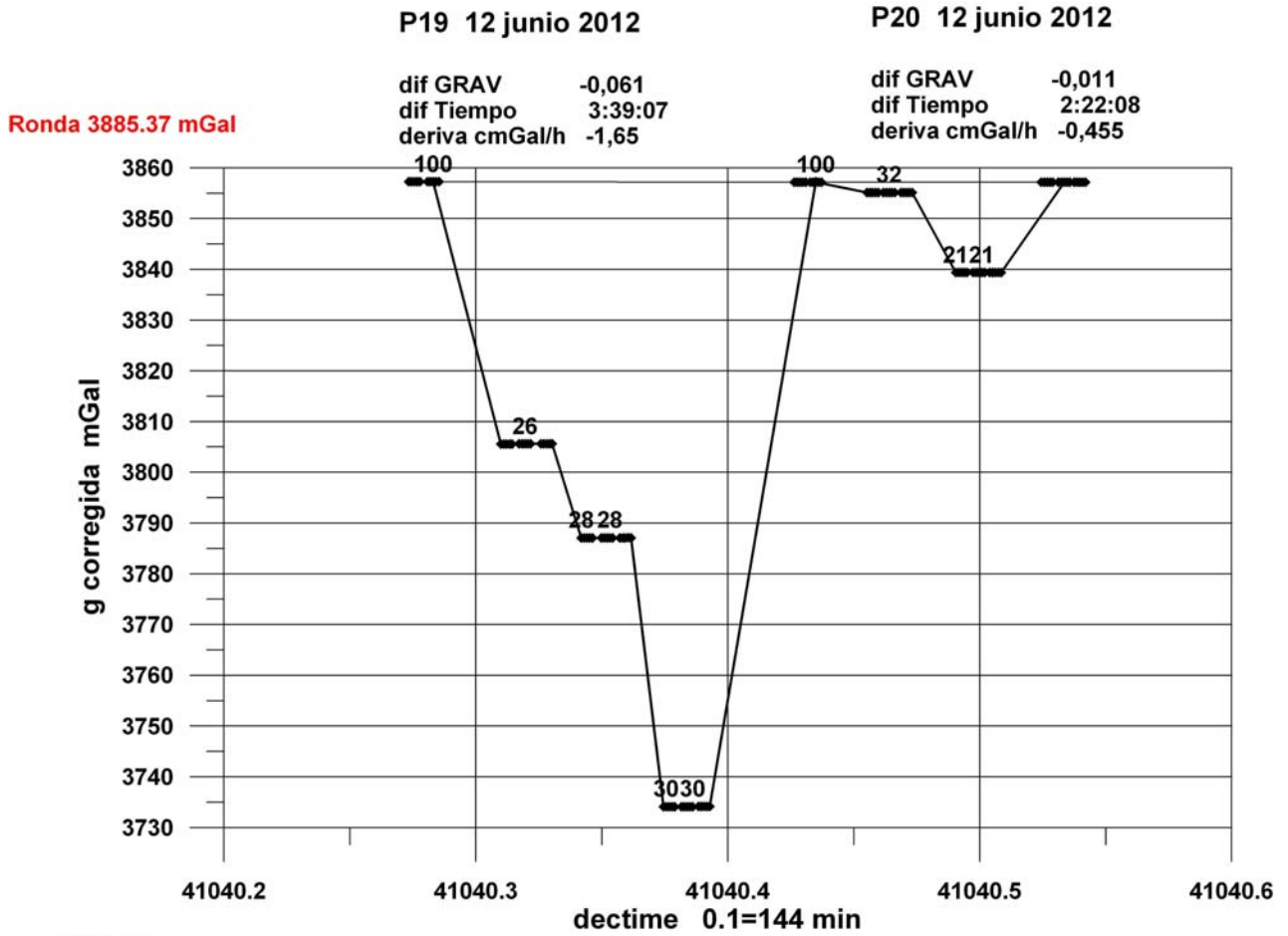




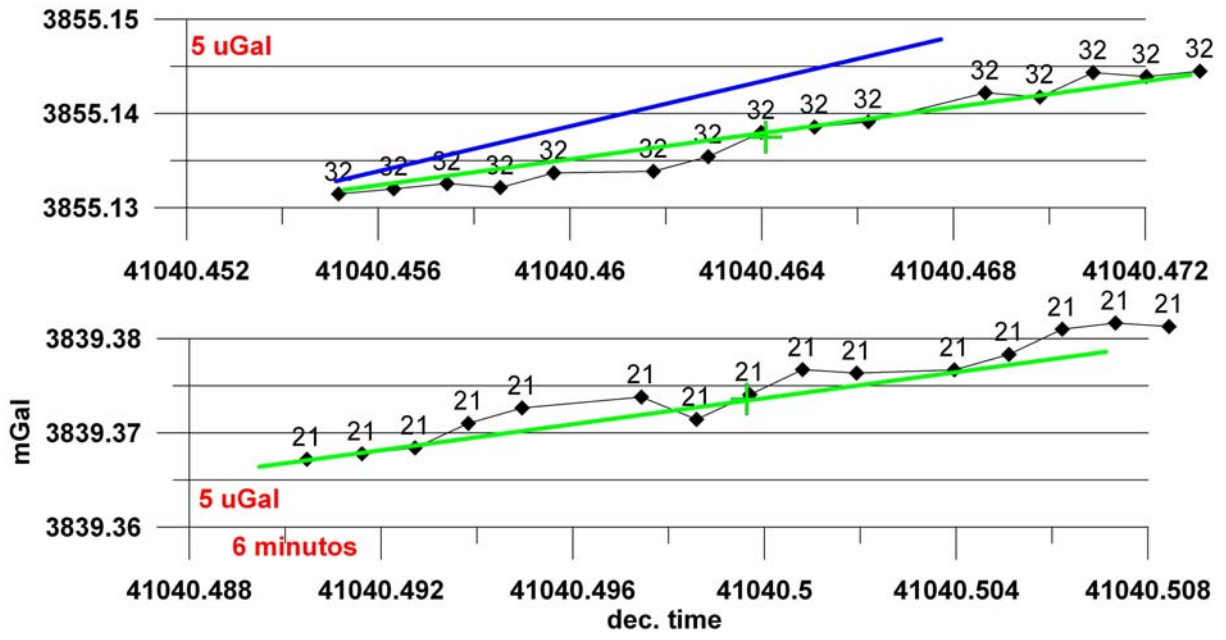
**BASE 100 día 12-6-2012 P19**



**día 12-6-2012 P19**



**BASE 100 día 12-6-2012 P20**

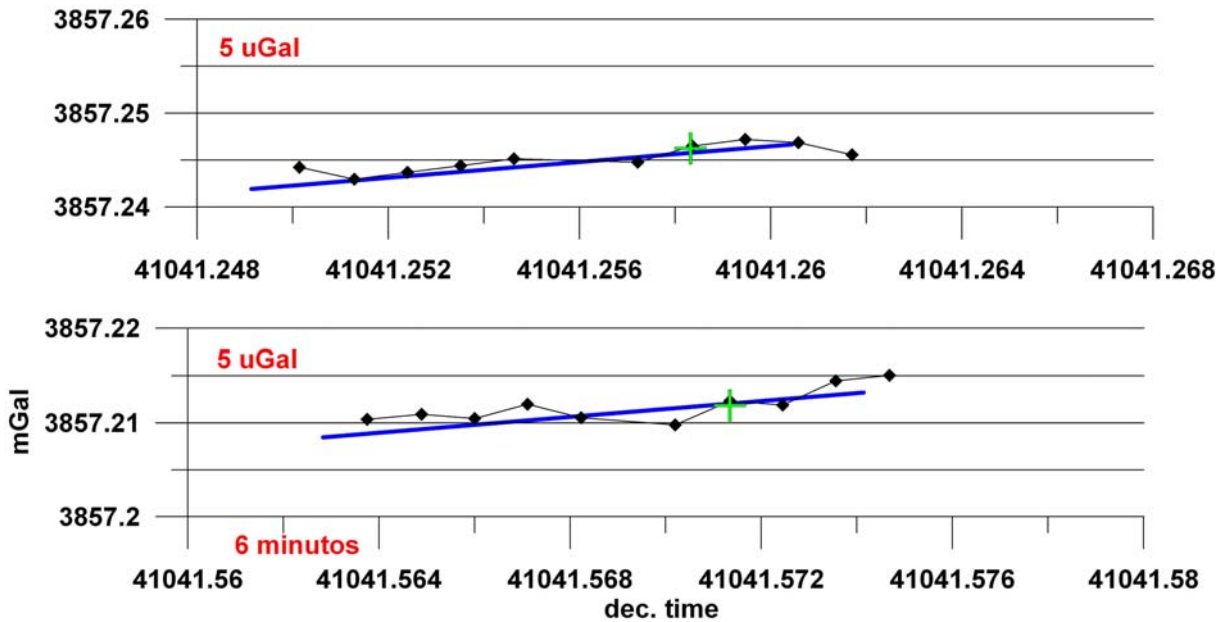
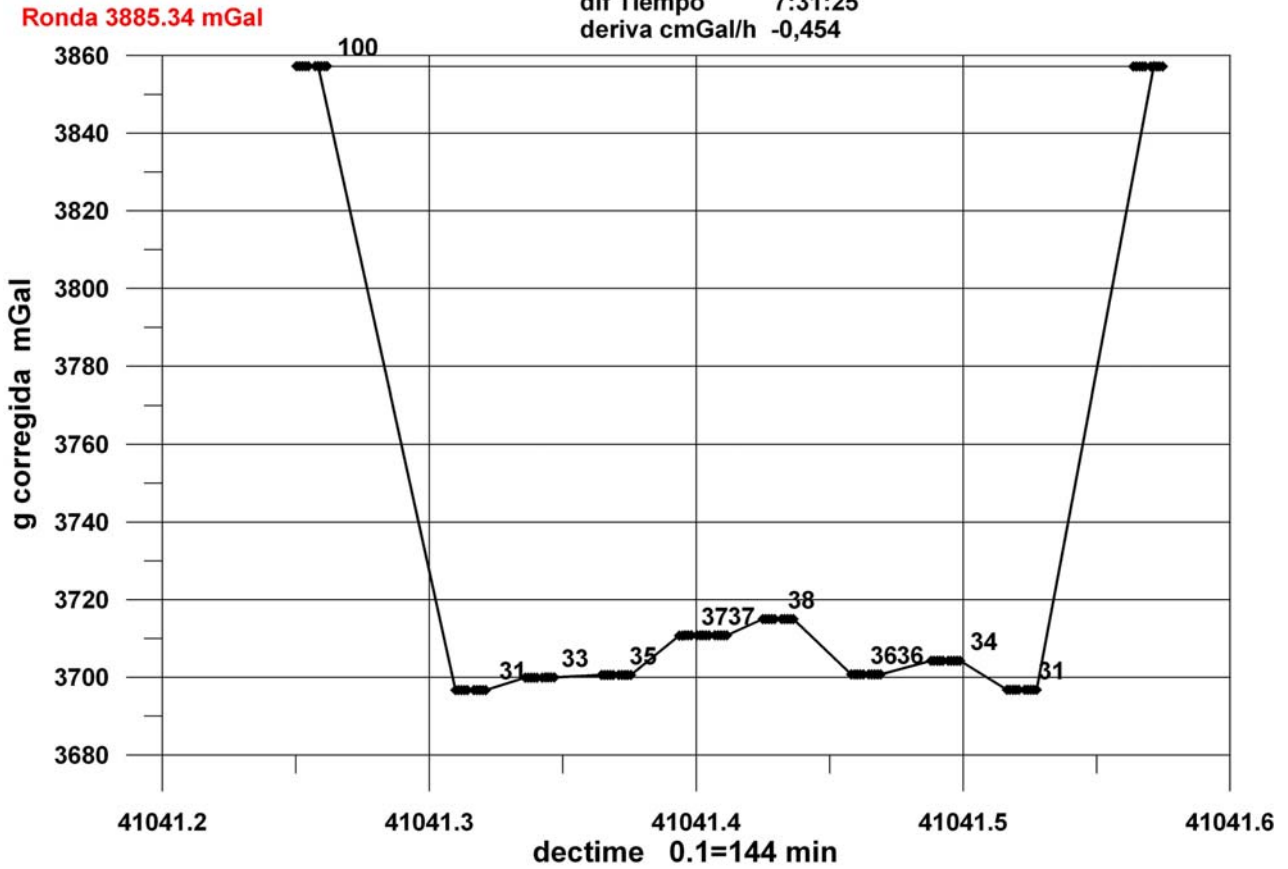


día 12-6-2012 P20



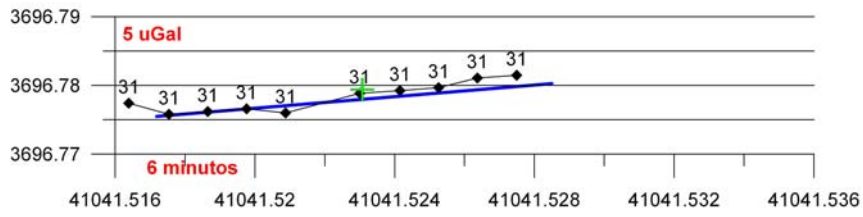
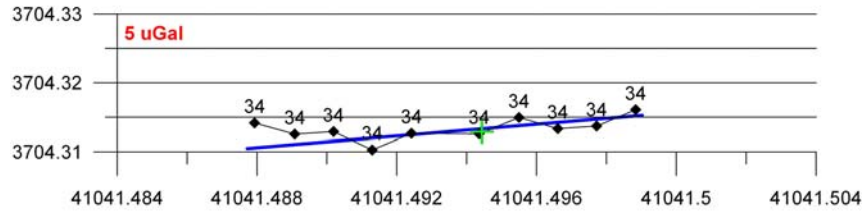
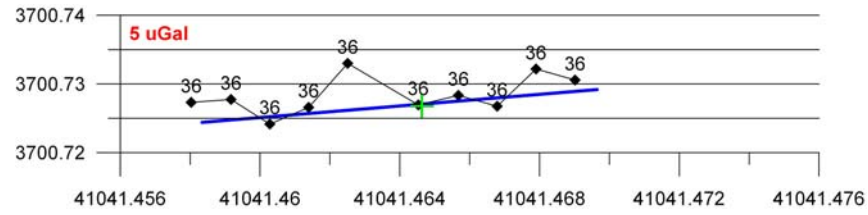
P21 13 junio 2012

dif GRAV -0,034  
 dif Tiempo 7:31:25  
 deriva cmGal/h -0,454

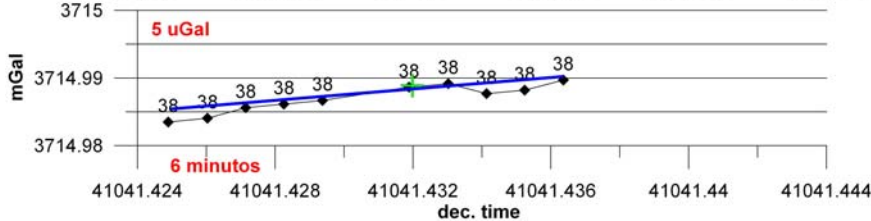
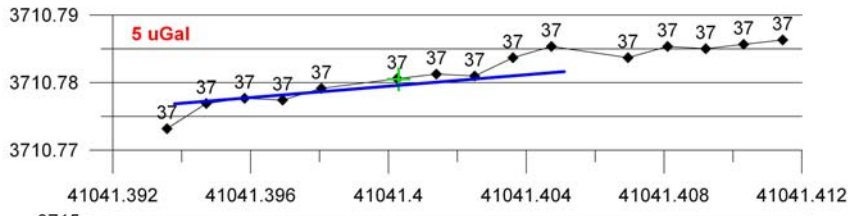
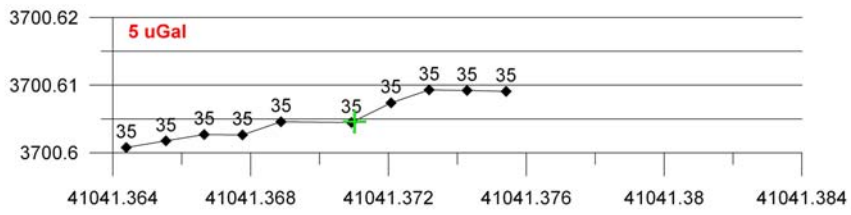
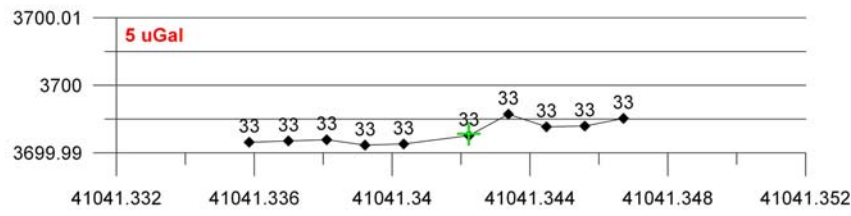
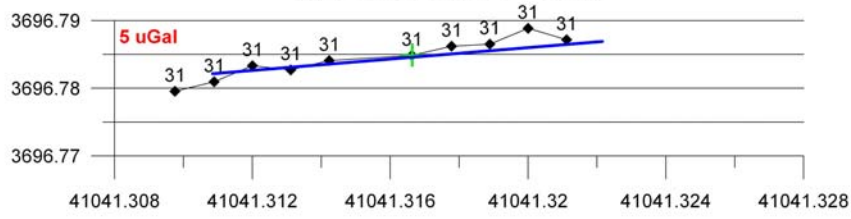


BASE 100 día 13-6-2012 P21

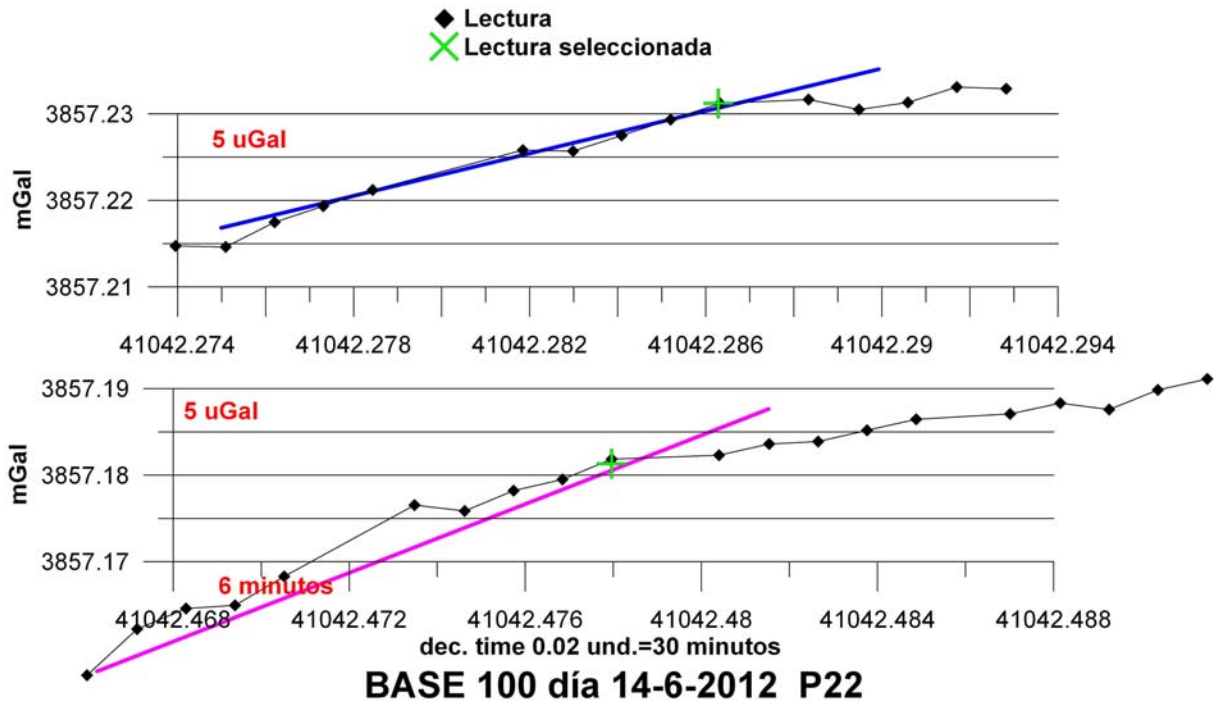
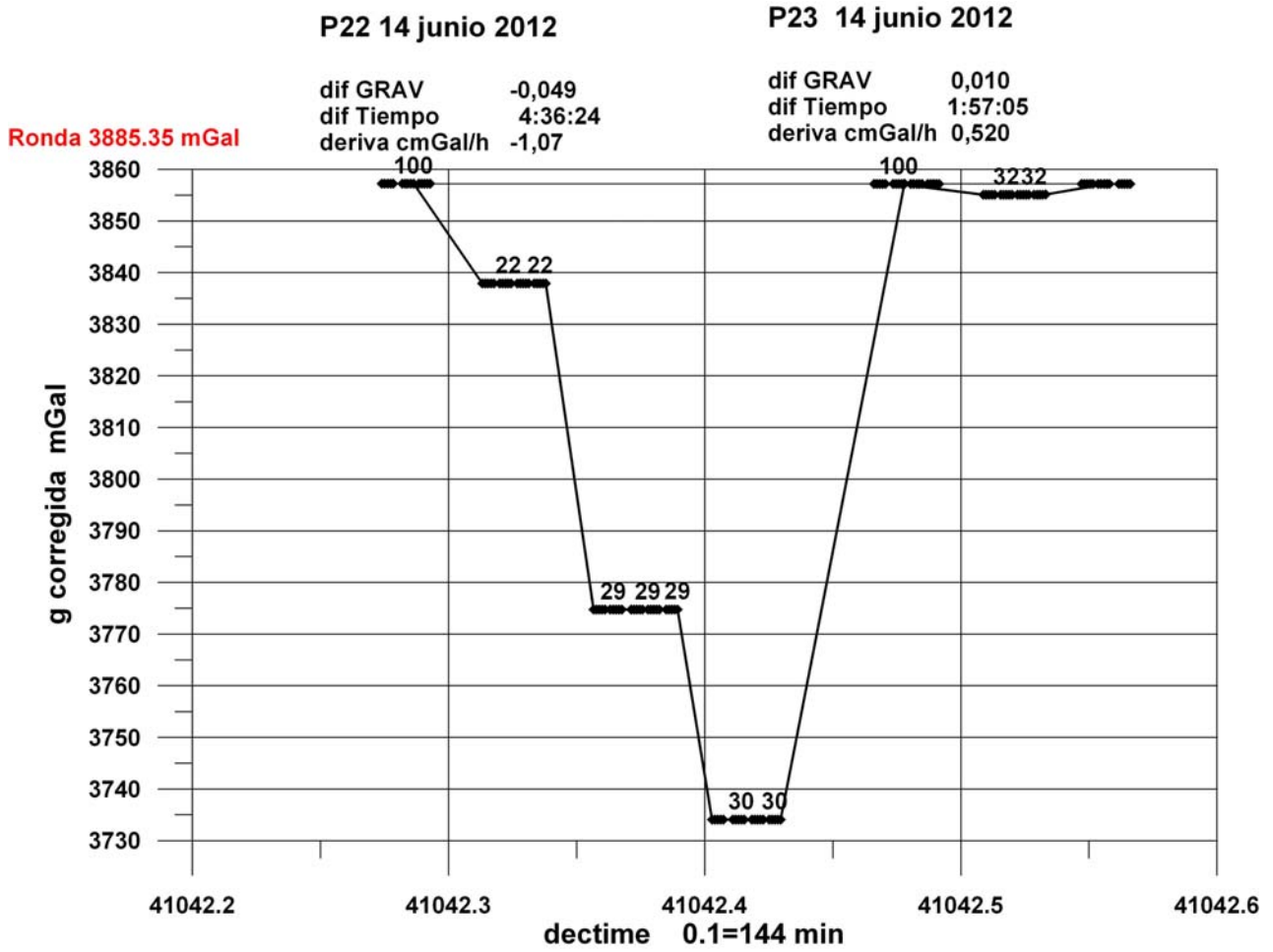
INFORME SOBRE EL ESTUDIO DE MICROGRAVIMETRÍA RELATIVA 4D EN EL KARST DE LA SIERRA DE LAS NIEVES (MÁLAGA). 2011-2012. J. L. Plata

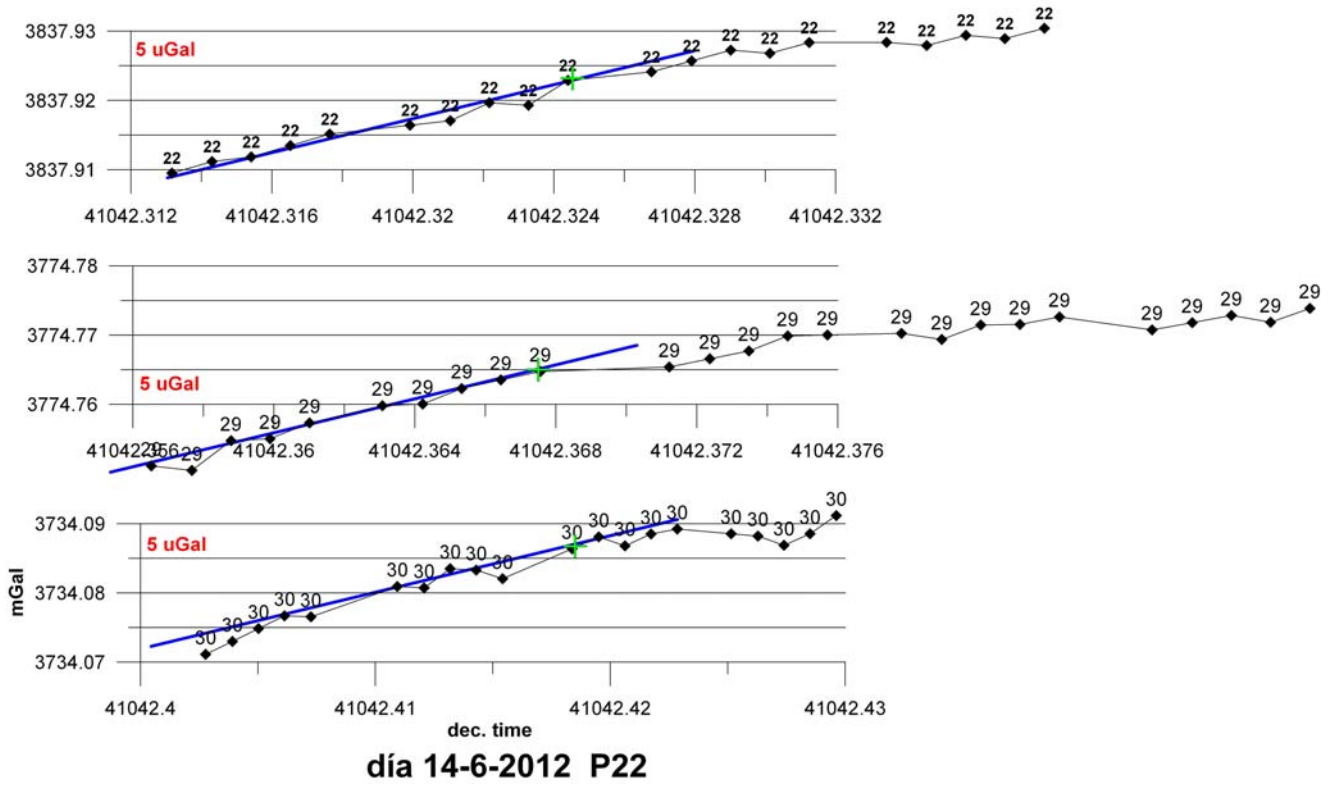


día 13-6-2012 P21b

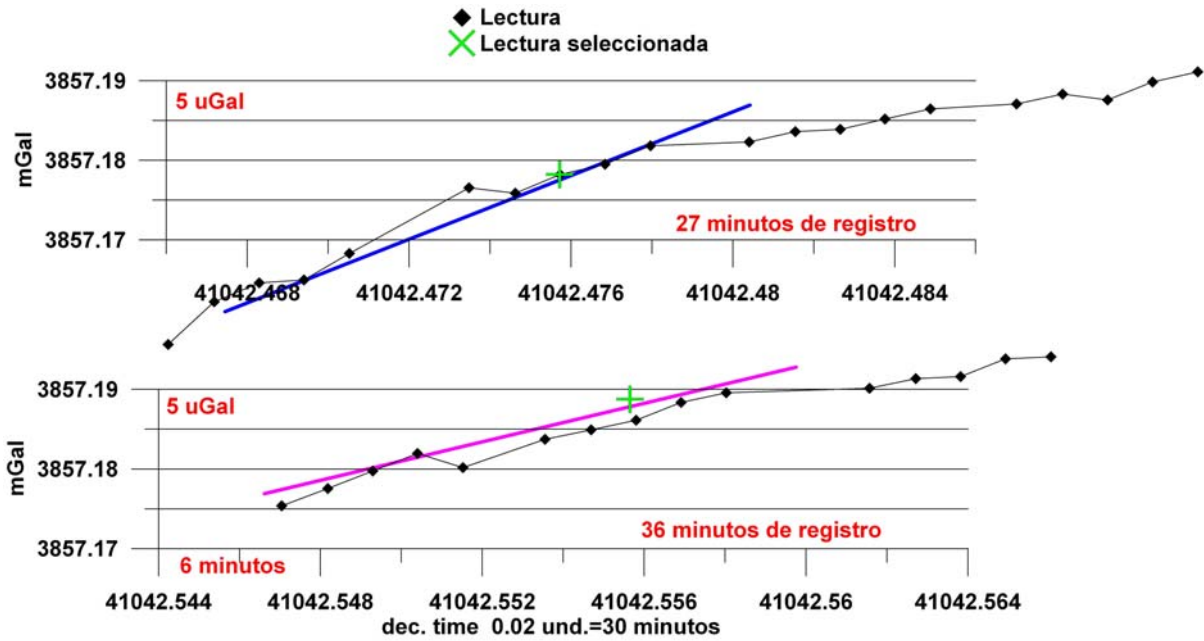
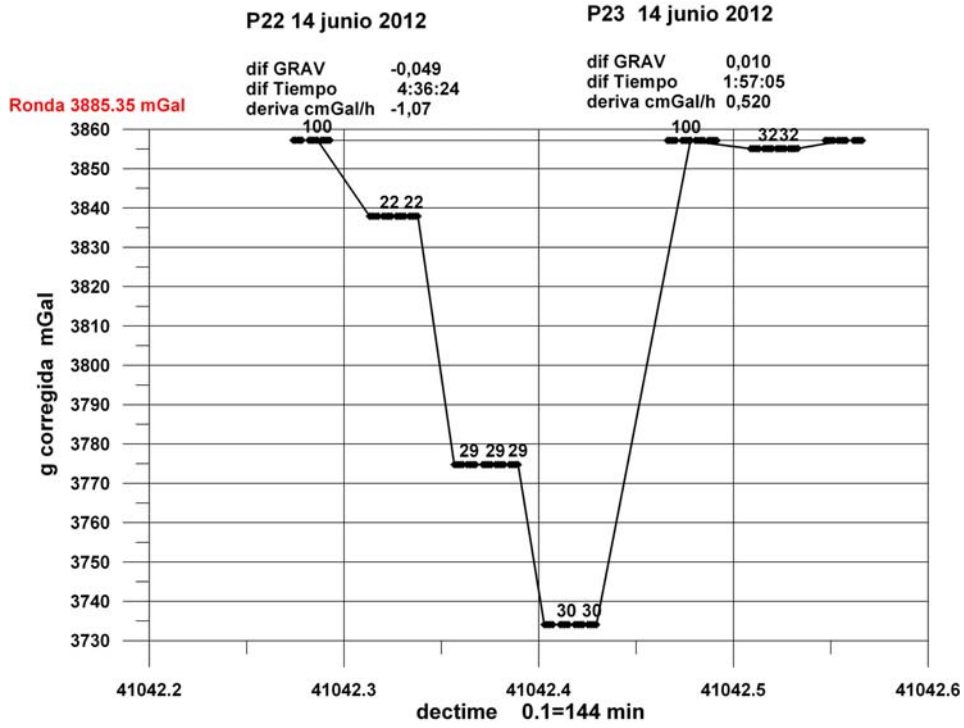


día 13-6-2012 P21

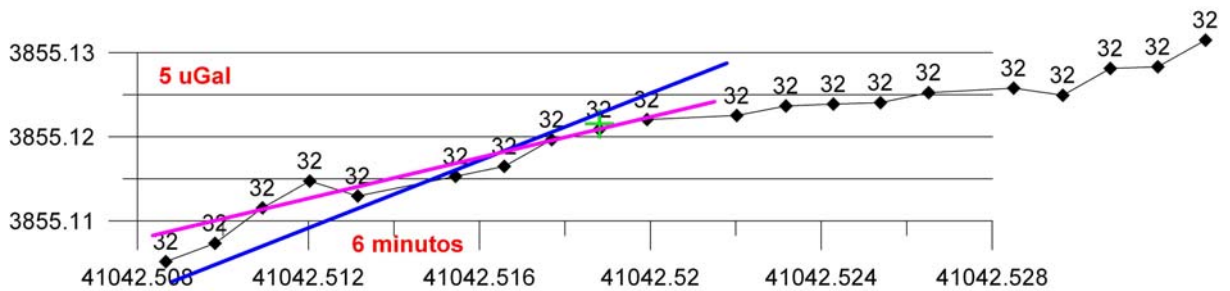




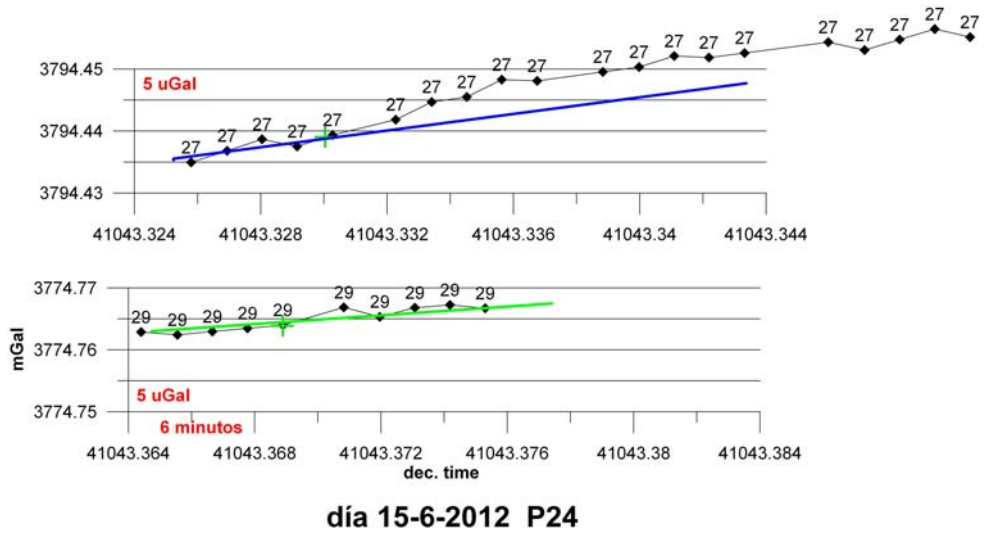
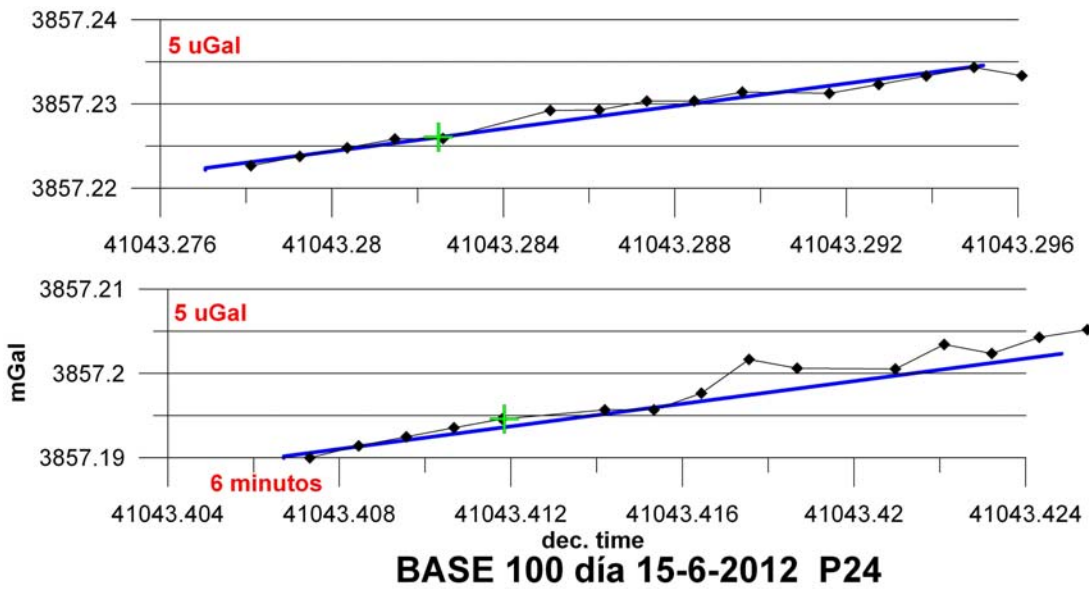
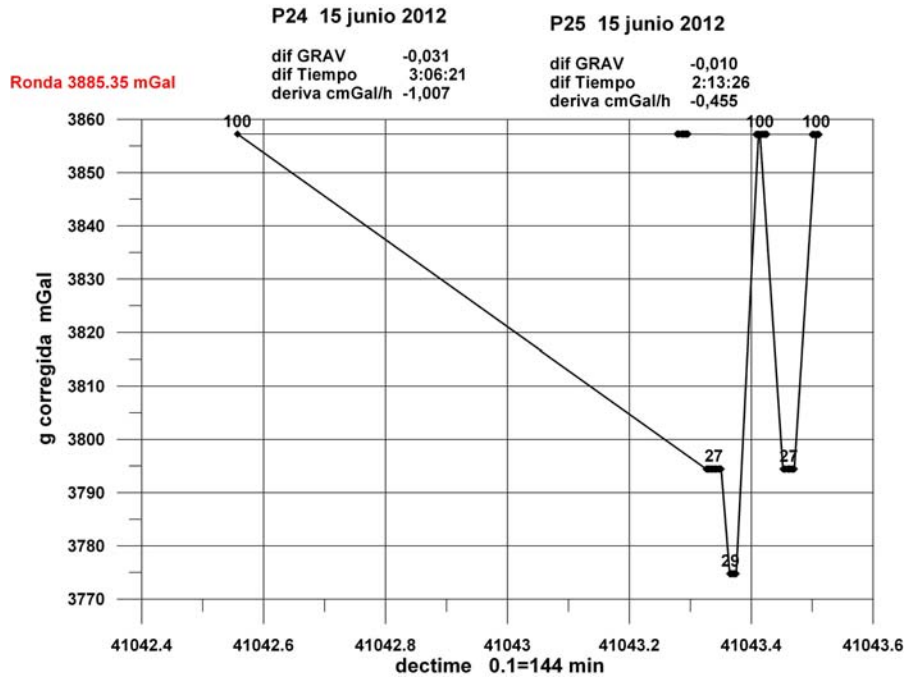


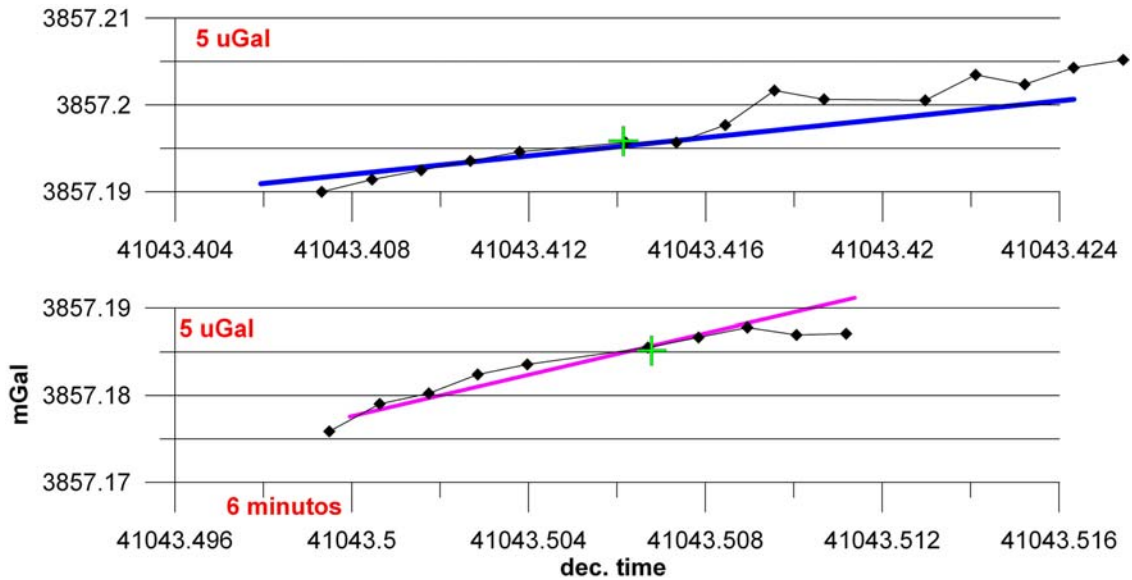
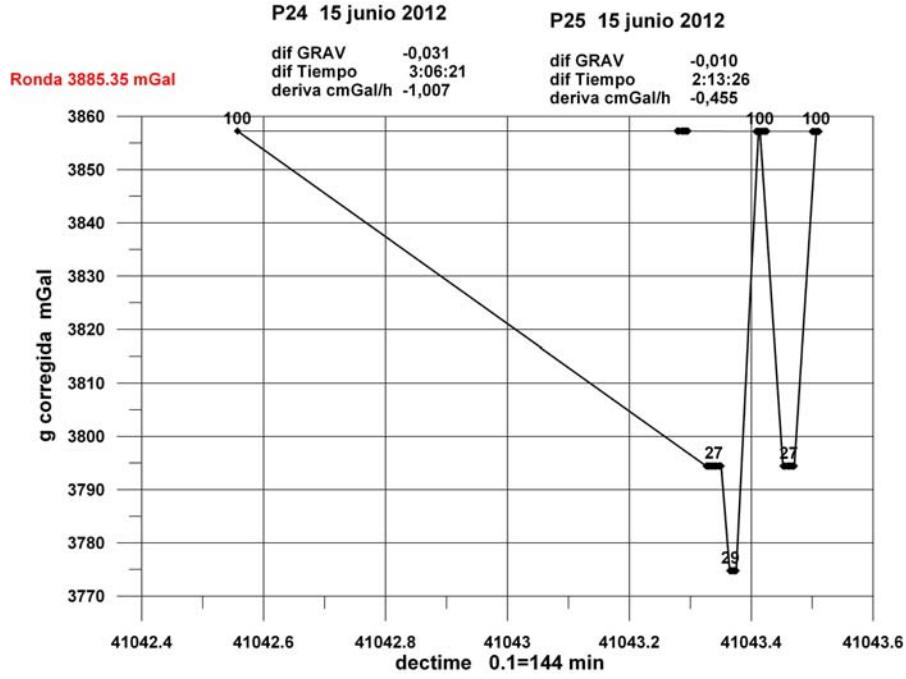


**BASE 100 día 14-6-2012 P23**

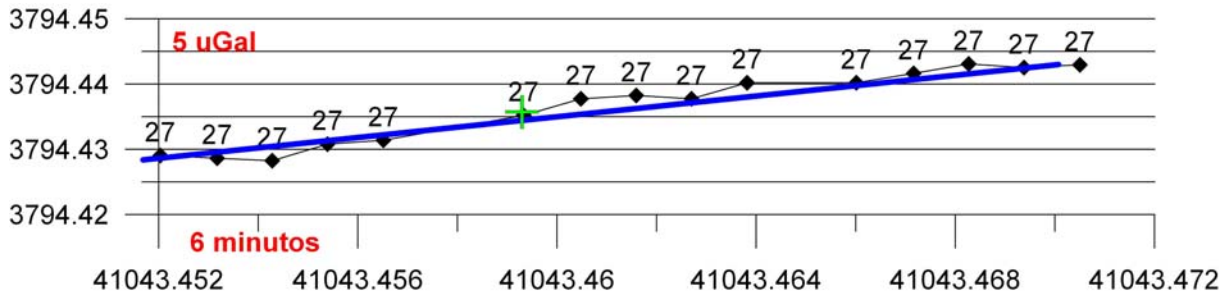


**día 14-6-2012 P23**

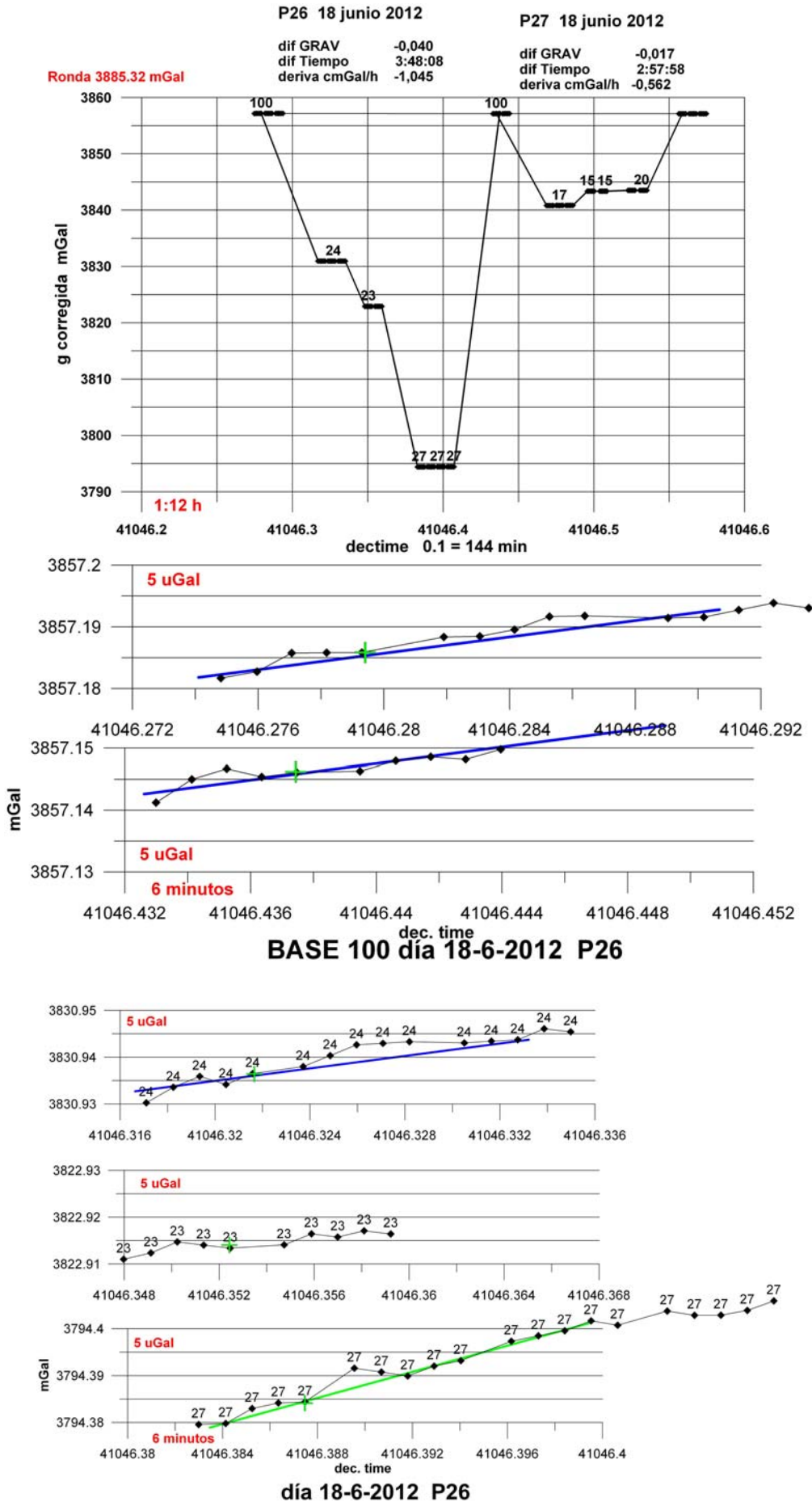




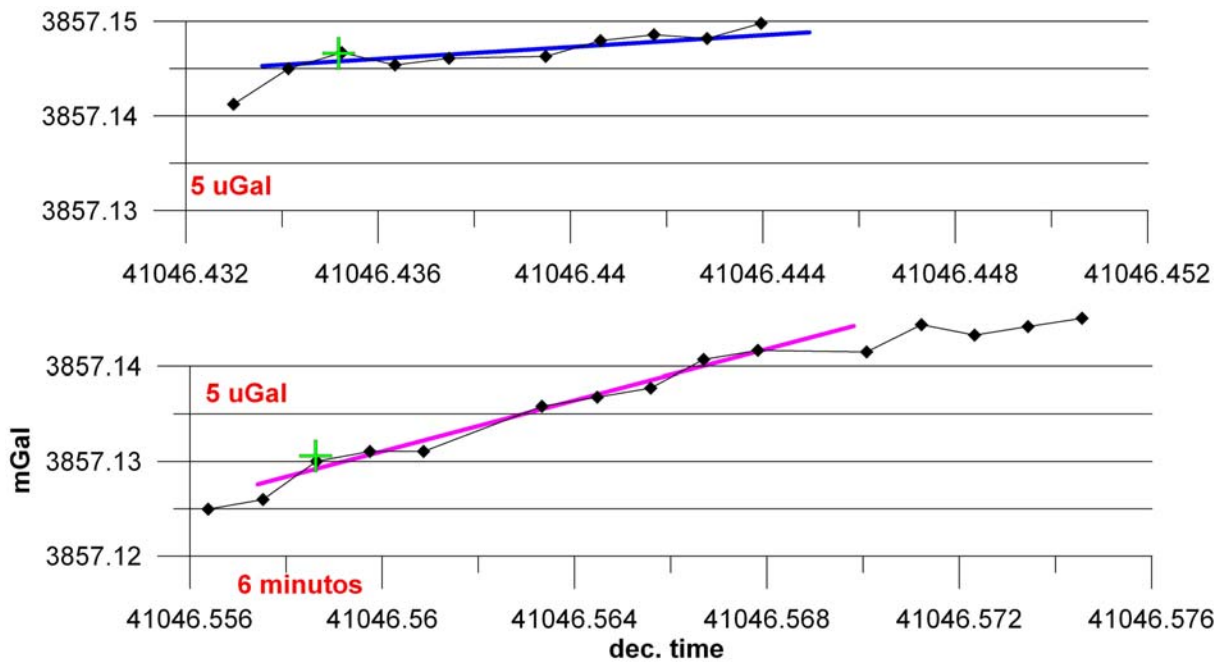
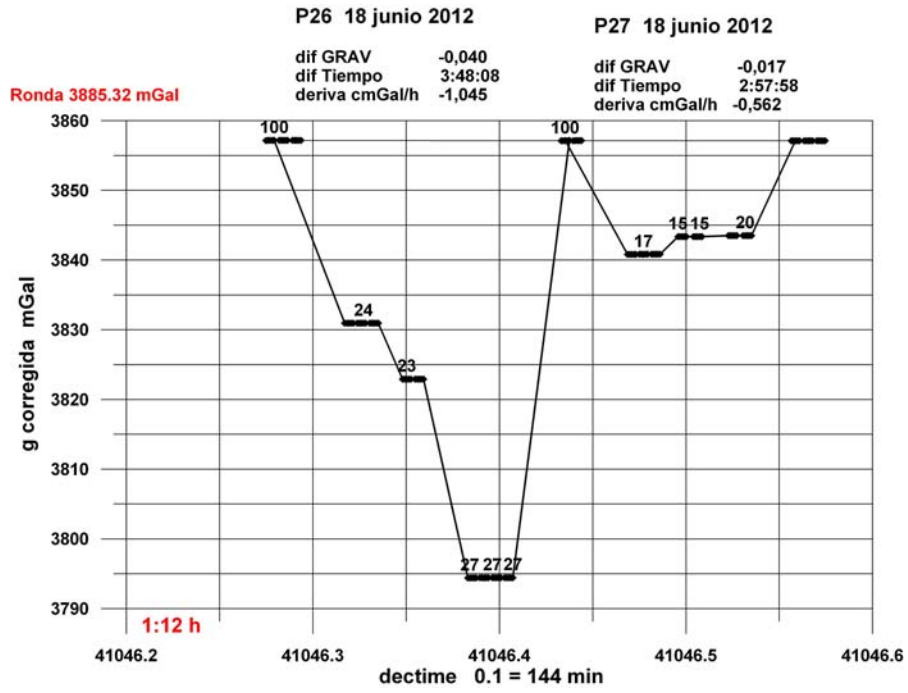
**BASE 100 día 15-6-2012 P25**



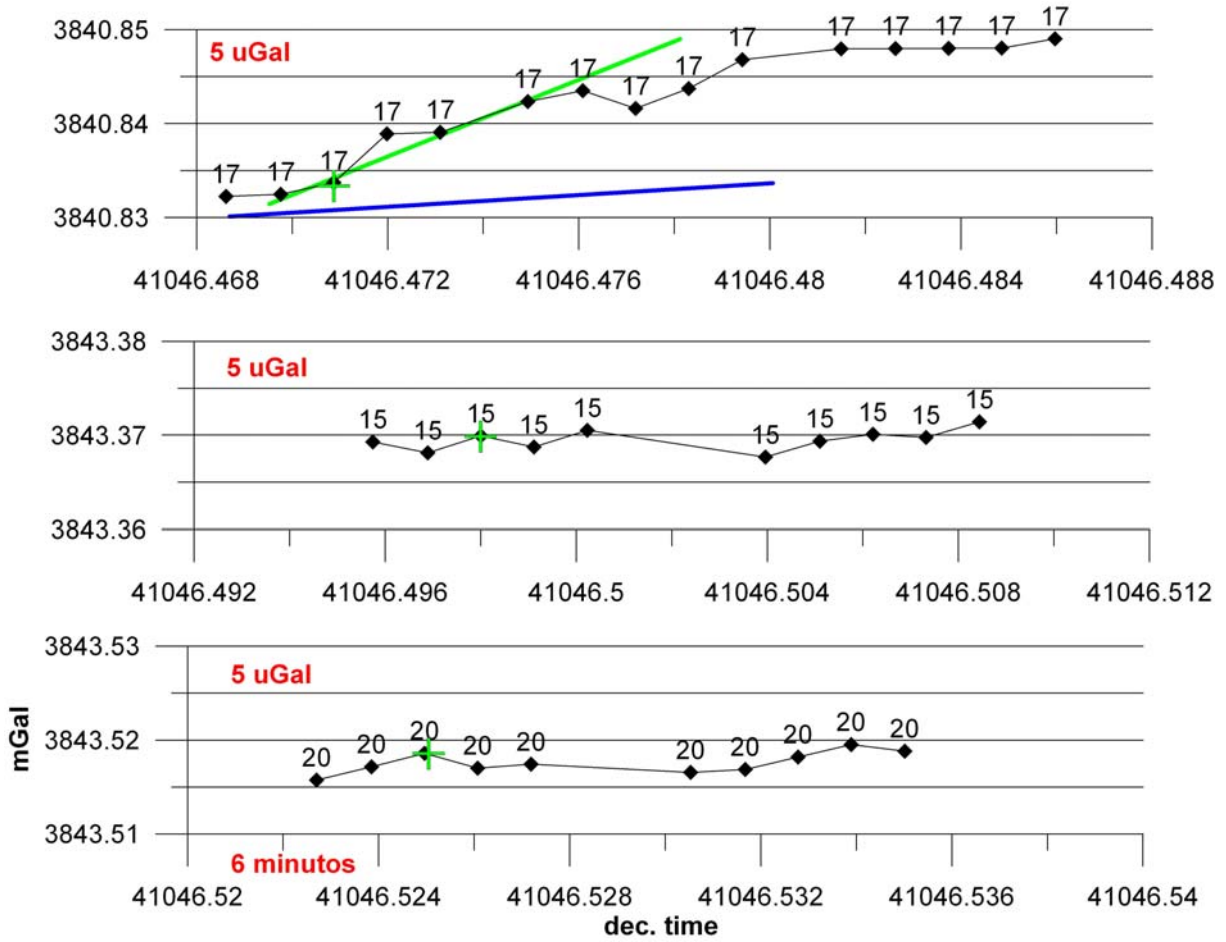
**día 15-6-2012 P25**







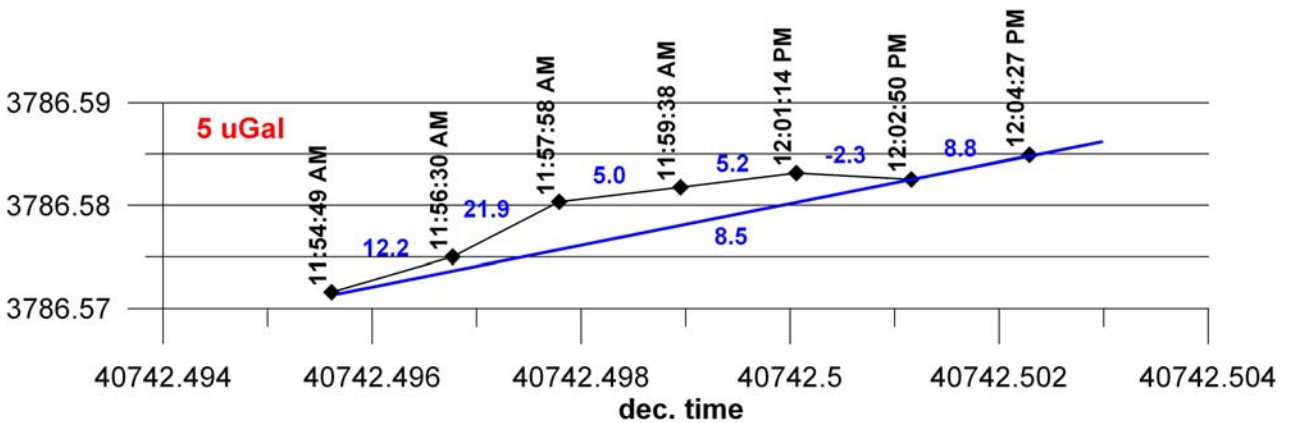
**BASE 100 día 18-6-2012 P27**



día 15-6-2012 P27

### Análisis de la estabilización de lecturas

En los ficheros de cálculo de anomalías **diaX PY.xls** se ha añadido la hoja **estab**, en la que se ha calculado para todas las lecturas en base y estación de cada programa el ratio de incremento/decremento de lecturas en cmGal/h de un ciclo al siguiente, así como su valor total o ratio medio, considerando las lecturas extremas. Así, por ejemplo, para la estación 32 del Programa 21 de 2011, los resultados son los siguientes:



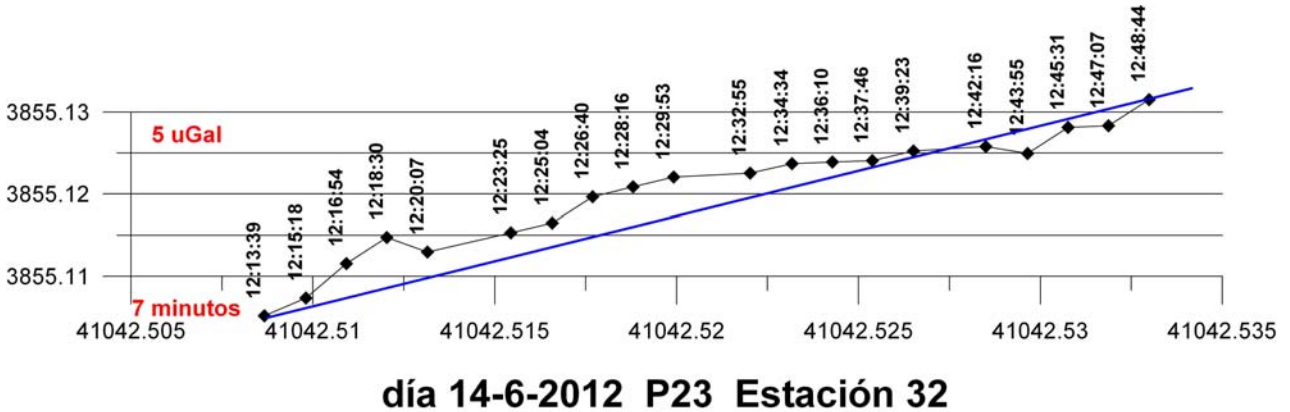
### día 19 P21 estación 32

programa2011	STATION	TIME	DEC.TIME	g+ls+co mGal	Ciclo- ciclo cmGal/hora	media
21	32	11:54:49	40742,4956	3786,572		
21	32	11:56:30	40742,4968	3786,575	12,2	
21	32	11:57:58	40742,4978	3786,580	21,9	
21	32	11:59:38	40742,499	3786,582	5,0	
21	32	12:01:14	40742,5001	3786,583	5,2	
21	32	12:02:50	40742,5012	3786,583	-2,3	
21	32	12:04:27	40742,5023	3786,585	8,8	8,5

#### Ejemplo de fragmento de fichero estab.xls

Los ratios ciclo-ciclo informan sobre la variación de tendencias, siendo normalmente mayores para los primeros ciclos (en el ejemplo de la estación 32, el ratio es más elevado hasta las 11:57). El valor medio informa sobre el comportamiento conjunto para esa medida. Puesto que los ciclos son de 90 s, con un tiempo entre lecturas de unos 100 s, un ratio de 20 cmGal/h significa un aumento de 0.005 mGal. Debido a la precisión instrumental de 0.001 mGal, el ratio mínimo real es cero (no varía la gravedad leída) o 4 cmGal/h; la aparición de ratios inferiores se debe a un efecto del cálculo con más de 3 cifras decimales, como ocurre en el intervalo 12:01:14 a 12:02:50.

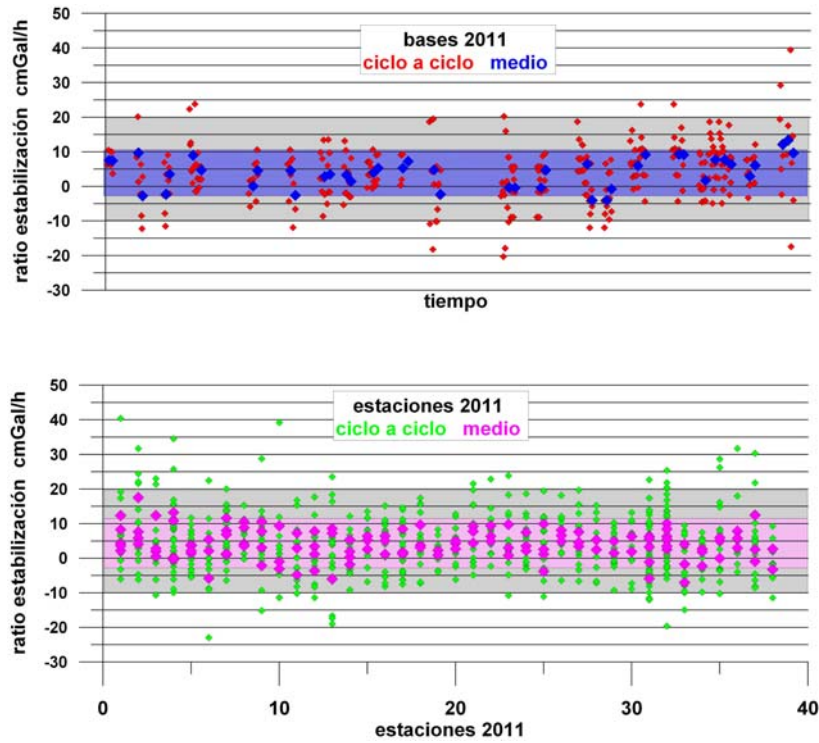
Para la estación 32 del Programa 23 de 2012 el ratio es mayor hasta las 12:29



programa2012	station	time	dectime	g+ls+co mGal	Ciclo-ciclo cmGal/hora	media
23	32	12:13:39	41042,5087	3855,105		
23	32	12:15:18	41042,5098	3855,107	7,9	
23	32	12:16:54	41042,5109	3855,112	15,8	
23	32	12:18:30	41042,512	3855,115	12,0	
23	32	12:20:07	41042,5132	3855,113	-6,7	
23	32	12:23:25	41042,5154	3855,115	4,3	
23	32	12:25:04	41042,5166	3855,116	4,3	
23	32	12:26:40	41042,5177	3855,120	12,0	
23	32	12:28:16	41042,5188	3855,121	4,5	
23	32	12:29:53	41042,5199	3855,122	4,4	
23	32	12:32:55	41042,522	3855,123	0,9	
23	32	12:34:34	41042,5232	3855,124	4,2	
23	32	12:36:10	41042,5243	3855,124	0,7	
23	32	12:37:46	41042,5254	3855,124	0,7	
23	32	12:39:23	41042,5265	3855,125	4,4	
23	32	12:42:16	41042,5285	3855,126	1,1	
23	32	12:43:55	41042,5297	3855,125	-3,0	
23	32	12:45:31	41042,5308	3855,128	12,0	
23	32	12:47:07	41042,5319	3855,128	0,7	
23	32	12:48:44	41042,533	3855,132	11,8	4,8

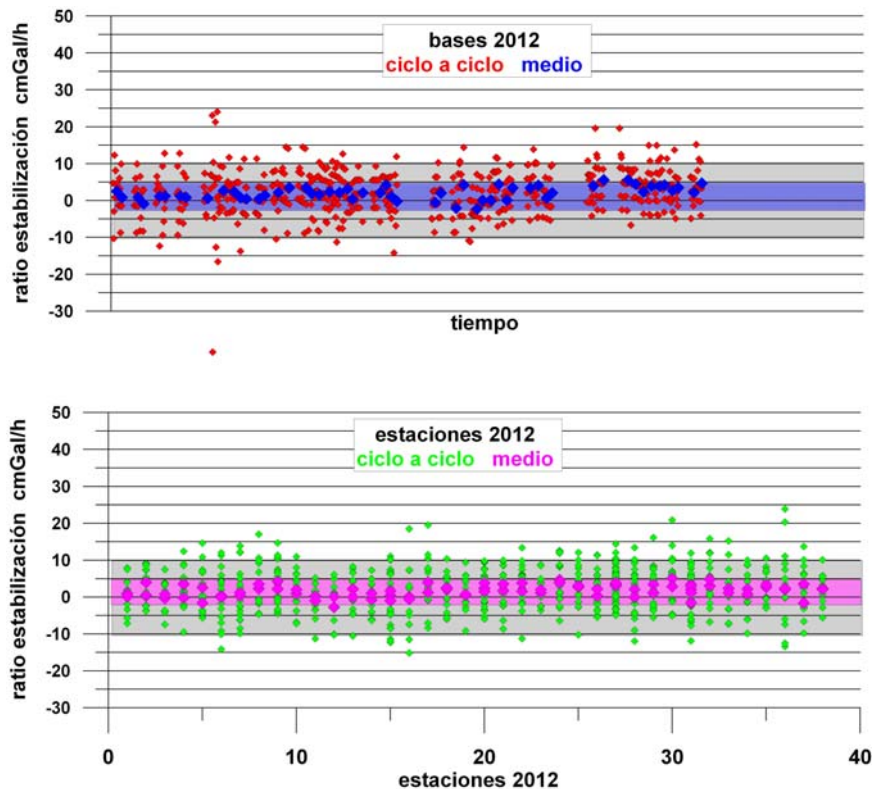
Todas las hojas **estab** se han reunido en el fichero **estab.xls|2011 y |2012**, con el que se han preparado los gráficos siguientes:



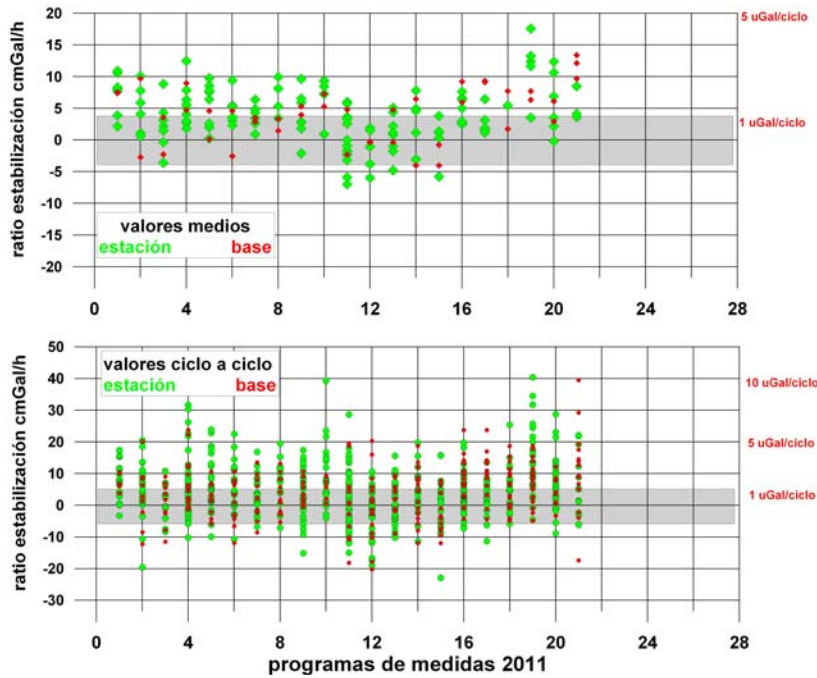


Ratios de estabilización ciclo-ciclo y medios para la campaña de 2011. Lecturas en base clasificadas por días.

El rango de los ratios de estabilización ciclo-ciclo está en ambas campañas comprendido entre  $\pm 10$  cmGal/h, con algunas excepciones, tanto para las lecturas en estación como en base. Los mayores ratios suelen pertenecer a los primeros ciclos. El rango de los valores medios se ve reducido a  $\pm 5$  cmGal/h, también con algunas excepciones. No se aprecian agrupaciones significativas, siendo el comportamiento de tipo aleatorio.

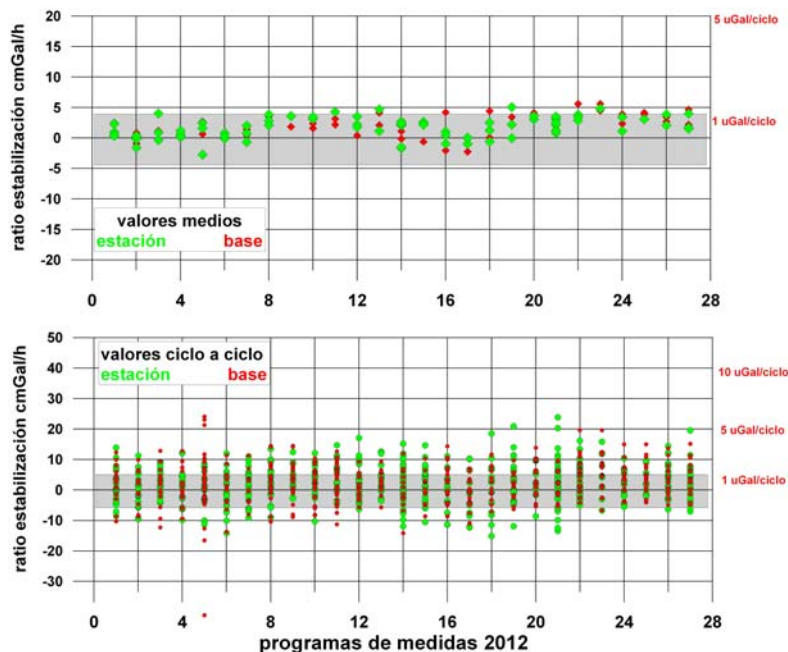


Ratios de estabilización ciclo-ciclo y medios para la campaña de 2012. Lecturas en base clasificadas por días.



Ratios de estabilización ciclo-ciclo y medios clasificados por programas para la campaña de 2011. Sombreada la zona equivalente a  $\pm 0.001$  mGal/ciclo.

En su clasificación por programas en 2011 puede observarse un mayor número de ratios negativos, tanto en las lecturas en base como en las estaciones, en los Programas 11 a 15, en coincidencia con el periodo donde se midió con mayor desviación estándar (Figura 8.7). Lo mismo ocurre, aunque en menor grado, en la campaña de 2012 (Figura 9.10).



Ratios de estabilización ciclo-ciclo y medios clasificados por programas para la campaña de 2012. Sombreada la zona equivalente a  $\pm 0.001$  mGal/ciclo.

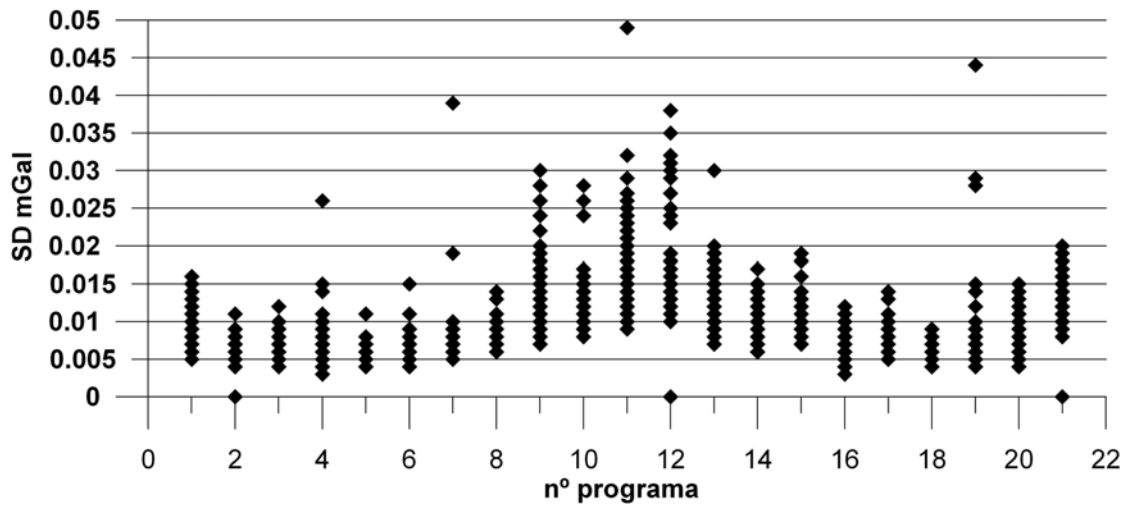


Fig. 8.7 Valores de SD para todas las lecturas efectuadas en los programas de la campaña de 2011.

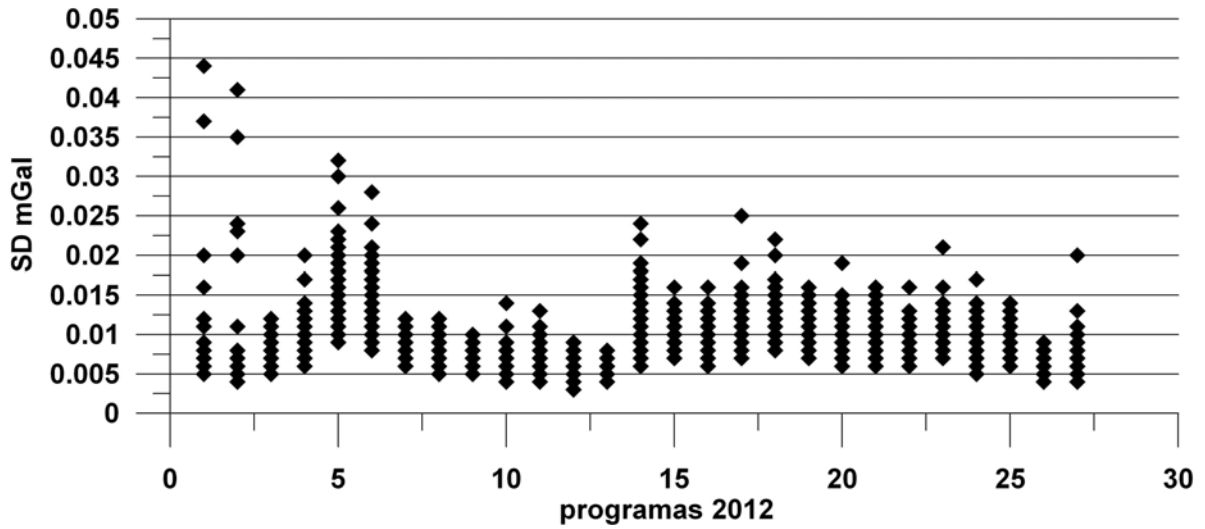
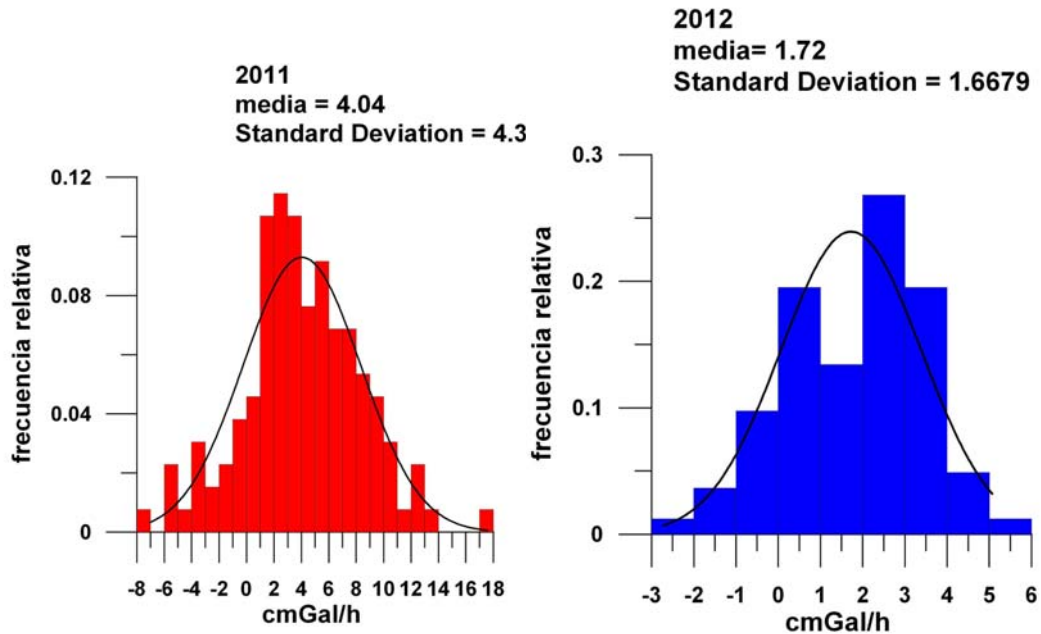


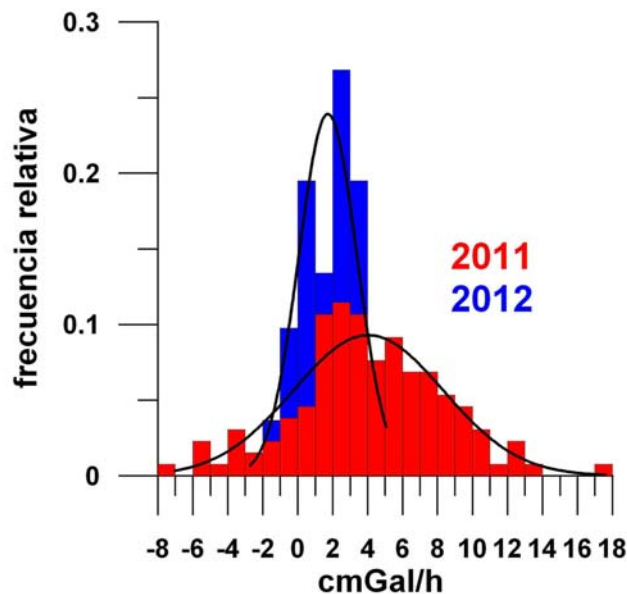
Fig. 9.10 Valores de SD para todas las lecturas efectuadas en los programas de la campaña de 2012.

Para 2011, el histograma de distribución de valores medios en las estaciones en grupos de 1 cmGal/h corrobora las observaciones anteriores de que la mayoría de los ratios son positivos, con valores en el rango -4 cmGal/h a +10 cmGal/h, y distribución aceptablemente gaussiana. Para 2012 el histograma de muestra un rango con valores en el rango -0 cmGal/h y +5 cmGal/h, fundamentalmente positivos; la distribución es menos aleatoria que en la campaña de 2011, indicando un comportamiento más constante del instrumento.



Histograma de distribución de los ratios de estabilización medios para las estaciones leídas en la campaña de 2011 y 2012.

En el siguiente gráfico se comparan los histogramas de distribución de ratios de estabilización de ambas campañas



Comparación de los histogramas de distribución de los ratios de estabilización medios para las estaciones leídas en la campaña de 2011 y 2012.



[Página dejada intencionadamente en blanco]

## **ANEXO V**

### **ANÁLISIS DE LA CORRECCIÓN LUNI-SOLAR Y CARGA OCEÁNICA POR QUICK-TIDE**

[Página dejada intencionadamente en blanco]

## **ANÁLISIS DE LA CORRECCIÓN LUNI-SOLAR Y CARGA OCEÁNICA POR QUICK-TIDE**

### **V-1 MÉTODOS DISPONIBLES PARA LA CORRECCIÓN LS Y DE CO**

V-1.1 Comparación entre los modelos proporcionados por el software QuickTide

V-1.2 Comparación con la corrección LS del gravímetro Scintrex CG5

### **V-2 RESULTADO DE LA APLICACIÓN DE LAS CORRECCIONES LS Y CO A LAS LECTURAS DEL CG5**

### **V-3 EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA POSICIÓN GEOGRÁFICA Y ALTITUD**

### **V-4 ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS DE CORRECCIÓN PARA INTERVALOS DE POCAS HORAS**

### **V-5 ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS DE CORRECCIÓN PARA INTERVALOS INFERIORES A UNA HORA**

### **V-6 VARIACIONES EN PERIODOS DE 10 MINUTOS (CICLOS DE LECTURA)**

### **V-7 RESUMEN DE MODELOS EMPLEADOS EN LAS CORRECCIONES**

### **V-8 CORRELACIÓN ENTRE LOS EFECTOS RESIDUALES Y LAS VARIACIONES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA**



[Página dejada intencionadamente en blanco]

El único efecto de variación externa tenido en cuenta hasta ahora en las campañas de gravimetría efectuadas por el IGME con el gravímetro Scintrex CG5 ha sido el de marea, calculada por el software incorporado al propio instrumento. Para la realización de este Proyecto se ha adquirido la aplicación **QUICK TIDE PRO v4.0 de MicrogLacoste**, por lo que se ha considerado de interés efectuar un análisis extensivo de sus posibilidades y del efecto que tienen estas correcciones, en especial la de carga oceánica, sobre el resultado de las anomalías en microgravimetría. Este Anexo es por lo tanto una extensión de los capítulos **4.1 Corrección de marea**, **4.2 Corrección de carga oceánica**, **5.5.7 Comprobación de la corrección Luni-Solar y de carga oceánica** y **7.5 Delimitación de sectores para corrección Luni-Solar y de carga oceánica**.

Para detalles específicos sobre el uso del programa QuickTidePro puede consultarse el Manual que ha sido redactado tras su adquisición.

## **V-1 MÉTODOS DISPONIBLES PARA LA CORRECCIÓN LS Y DE CO**

### **V-1.1 Comparación entre los modelos proporcionados por el software QuickTide**

El programa QuickTidePro permite calcular el efecto de marea con los modelos de Berger y ETGTAB; para la carga oceánica se dispone de los modelos de Schwiderski, Fes2004 y Csr30, que pueden combinarse con cualquiera de los modelos de marea. También es posible seleccionar para cada modelo las ondas cuya amplitud y fase desean tenerse en cuenta, entre M2, S2, K1, O1, N2, P1, K2, Q1, Mf, Mm y Ssa, para lo que se precisa disponer de un criterio de selección de ondas; por defecto se utilizan todas en el modelo de Schwiderski, y hasta Q1 inclusive en los de Fes2004 y Csr30.

Puesto que los diversos modelos utilizados para el cálculo del efecto de marea y de carga oceánica proporcionan valores distintos, se va a analizar la posible influencia que estas diferencias pueden tener en los estudios de microgravimetría relativa 4D.

En la Figura V-1 (gráficos a y b) se comparan las correcciones de marea proporcionadas por los algoritmos de Berger y ETGTAB para un periodo de 48 horas, calculadas para Madrid durante los días 21 y 22 de mayo de 2012. La amplitud máxima es superior a los 200  $\mu\text{Gal}$ , con una diferencia entre ambos algoritmos que puede llegar a ser del orden de 1  $\mu\text{Gal}$ . La corrección de Berger es mayor que la de ETGTAB desde las 6 a las 18 h, e inferior en el resto del día. El valor máximo sucede al mediodía (hora solar) y los mínimos entorno de las 6 y a las 18 h, con un elevado gradiente de aumento y de disminución entre ambos tiempos, del orden de 36  $\mu\text{Gal/h}$  (6  $\mu\text{Gal}$  cada 10 minutos).

La corrección de carga oceánica (Figura V-1, gráficos a, c y d) es muy inferior, con amplitud máxima del orden de 8  $\mu\text{Gal}$ , presentando dos máximos al día (sobre las 9 y las 21 h) y dos mínimos (sobre las 3 y las 15 h), desfasados respecto de los de la marea; los gradientes de crecimiento o de disminución son del orden de 1  $\mu\text{Gal/h}$ . Respecto de las diferencias entre los modelos de Schwiderski (Schw), Csr30 y FES2004, los valores de Fes y Schw son los más parecidos, con diferencias inferiores a 0.2  $\mu\text{Gal}$ . El modelo Csr presenta mayores diferencias con los otros dos, llegando a 0.4  $\mu\text{Gal}$  y siguiendo esta

diferencia una evolución igual a la del efecto de carga oceánica, lo que significa que las mayores diferencias se dan para los valores máximos y mínimos.

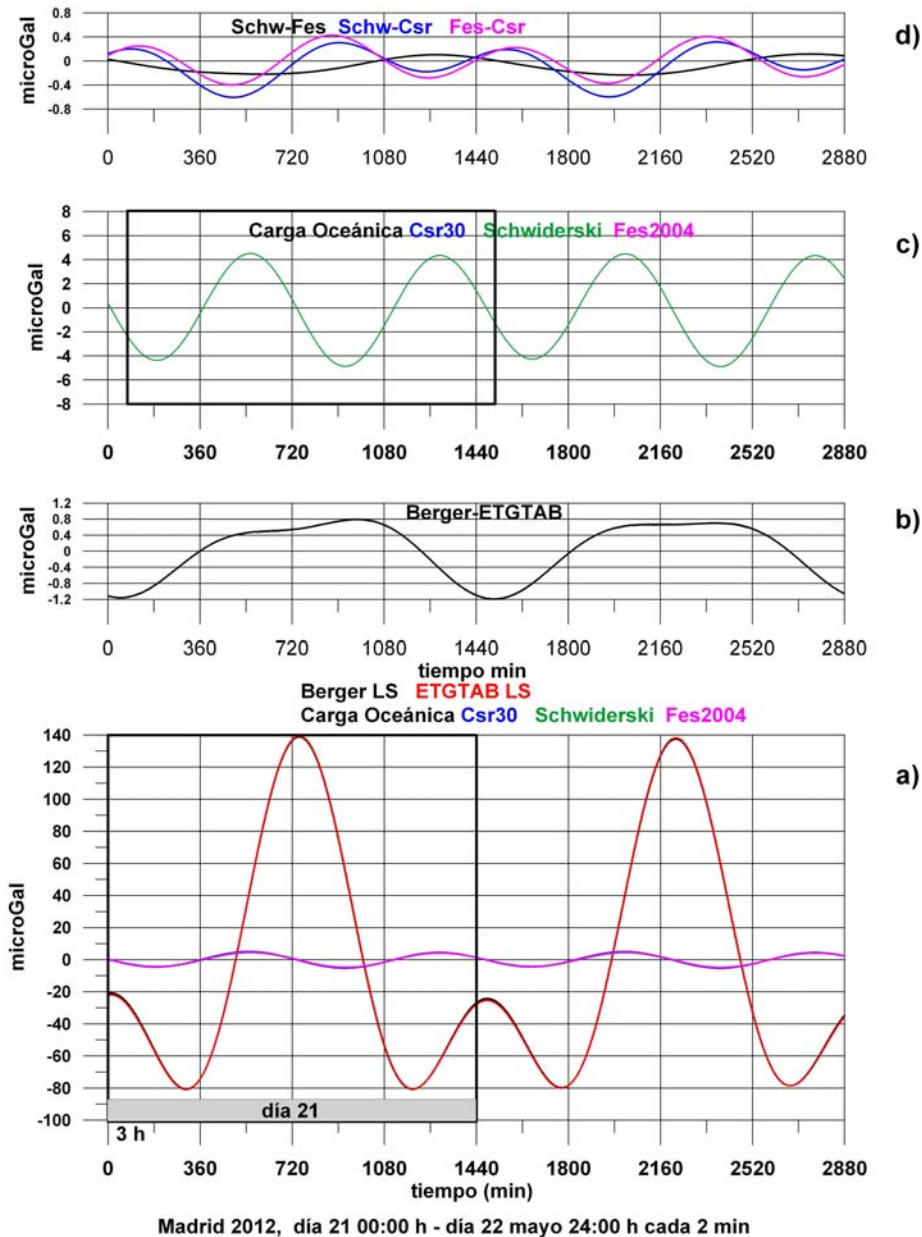


Fig. V-1 Diferencias entre los efectos de marea (gráficos a y b) y de carga oceánica (gráficos a, c y d) con los diversos modelos disponibles en el programa Quik Tide Pro. Valores para Madrid, 21-22 mayo 2012.

Los valores absolutos de estos efectos o de sus correcciones (con signo opuesto al efecto), y su periodo de oscilación presentan variaciones con los días, siguiendo fundamentalmente los ciclos lunares, por lo que las diferencias entre los distintos modelos no son siempre las mismas. Así, en la Figura V-2 se da un ejemplo para un periodo de 8 días, en Madrid del 17 al 24 de junio de 2011. La corrección Luni-Solar (gráficos a y b) puede pasar en unos días de tener valores máximos de 250  $\mu\text{Gal}$  a inferiores a 100  $\mu\text{Gal}$ , con importantes modificaciones en su morfología. Las diferencias máximas entre modelos son siempre del orden de  $\pm 1 \mu\text{Gal}$ . Estas mismas variaciones de forma las siguen, evidentemente, las correcciones de

carga oceánica, ya que tienen su origen en el mismo fenómeno (gráficos c y d); las diferencias entre modelos de CO sigue siendo en este caso inferior a  $0.5 \mu\text{Gal}$ .

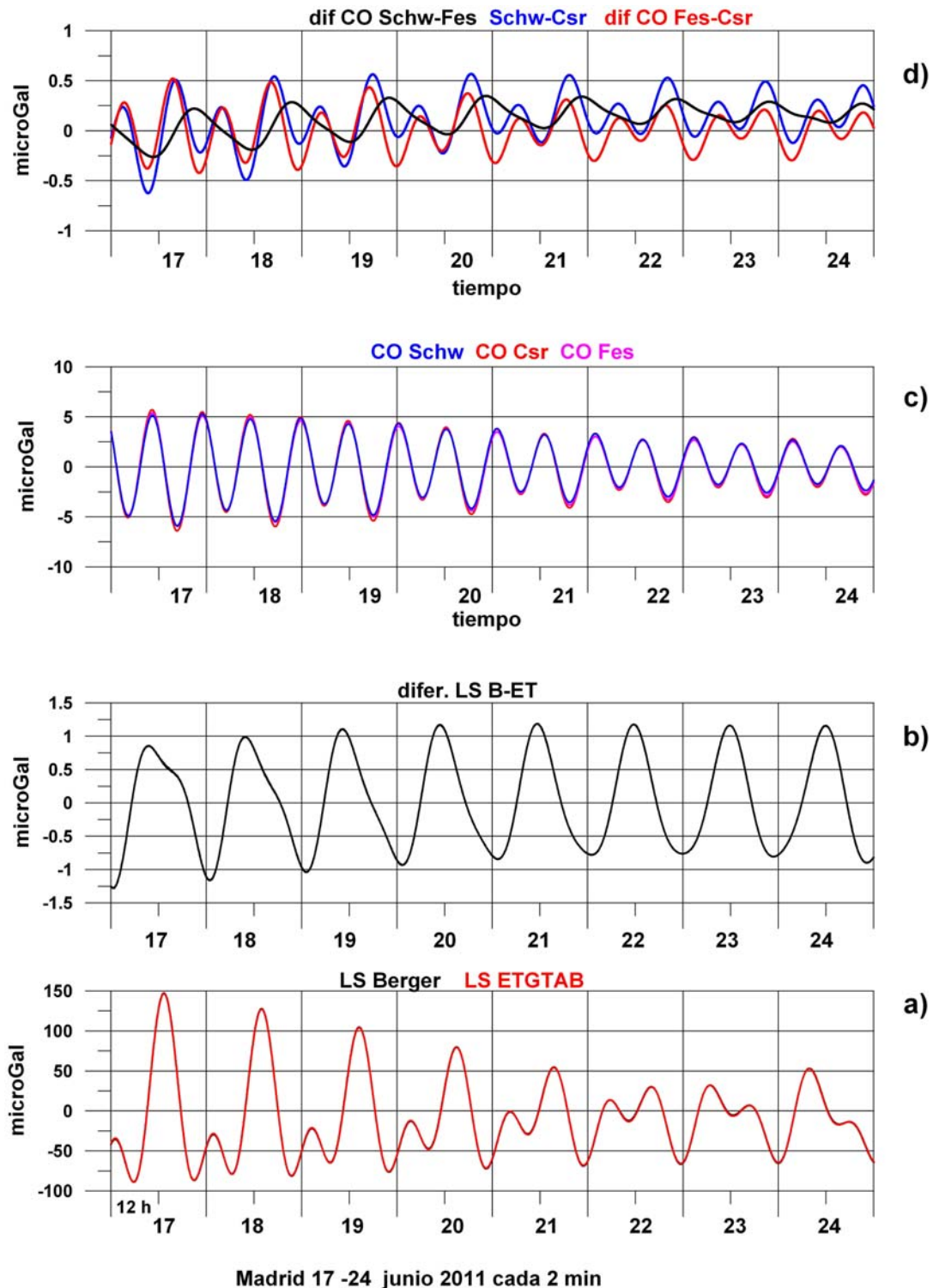


Fig. V-2 Diferencias entre los efectos de marea y de carga oceánica con los diversos modelos facilitados por el programa Quik Tide Pro. Valores para Madrid, 17 al 24 de junio de 2011.

En la Figura V-3 se presenta la variación de la carga oceánica para un periodo de 36 días, en Madrid del 21 de junio al 15 de julio de 2011, junto con las diferencias entre las correcciones Luni-Solares efectuadas por los modelos Berger y ETGTAB. Las oscilaciones de la CO tienen periodos en los que no supera los  $\pm 2 \mu\text{Gal}$  y otros en los que llega a  $\pm 6 \mu\text{Gal}$ .



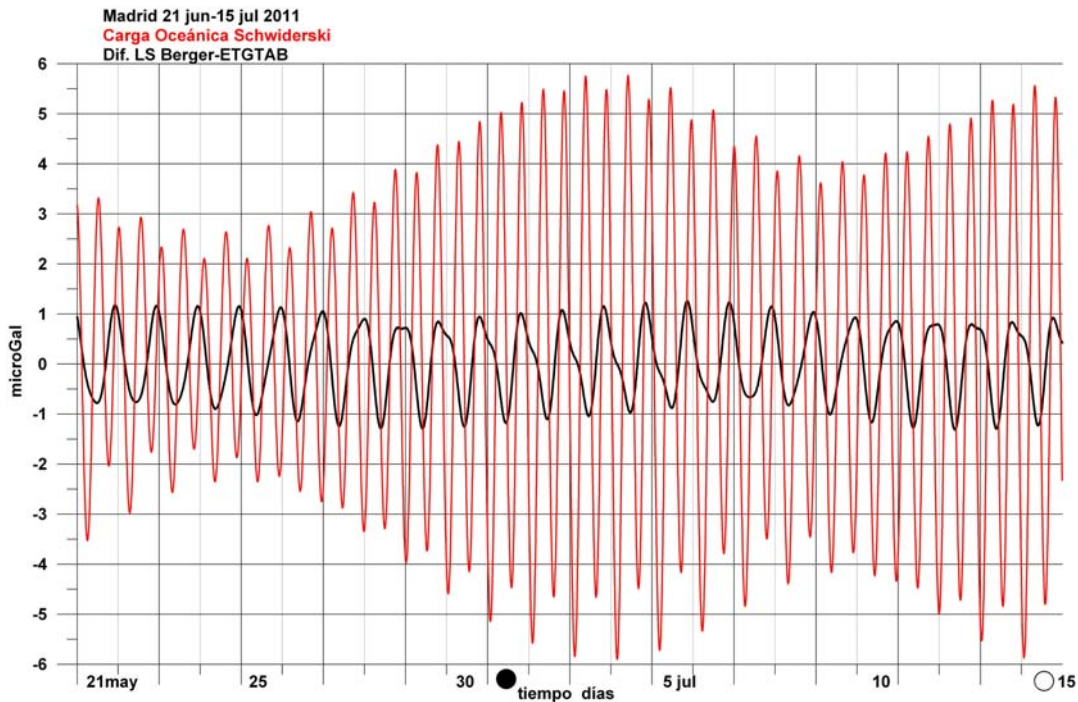


Fig. V-3. Ejemplo de variación del efecto CO para un periodo de 36 días, en Madrid del 21 de junio al 15 de julio de 2011. Se ha superpuesto la diferencia para el mismo periodo de las correcciones LS por los modelos de Berger y ETGTAB.

Tanto la amplitud de estos fenómenos como su diferencia calculada con diferentes modelos, dependen del día del año. Así para 2 días del mes de agosto de 2011 (Figura V-4) se aprecia que las mayores correcciones de CO la efectúa el modelo Csr, y las menores el de Schwiderski.

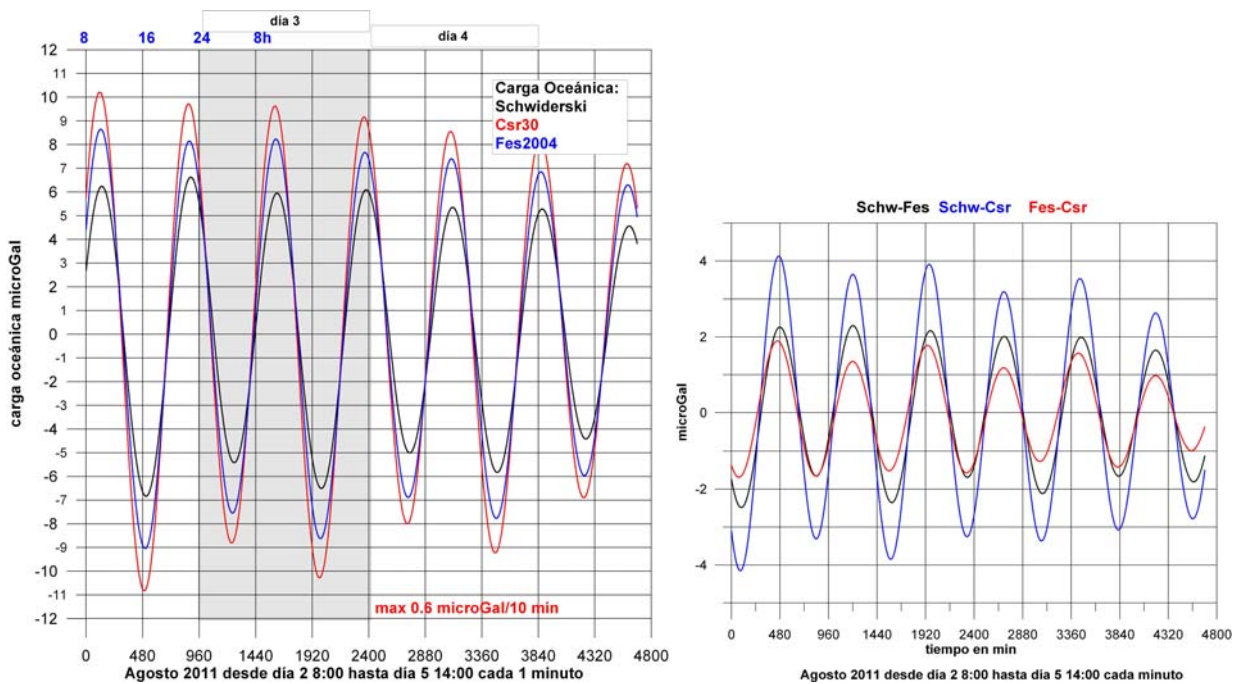
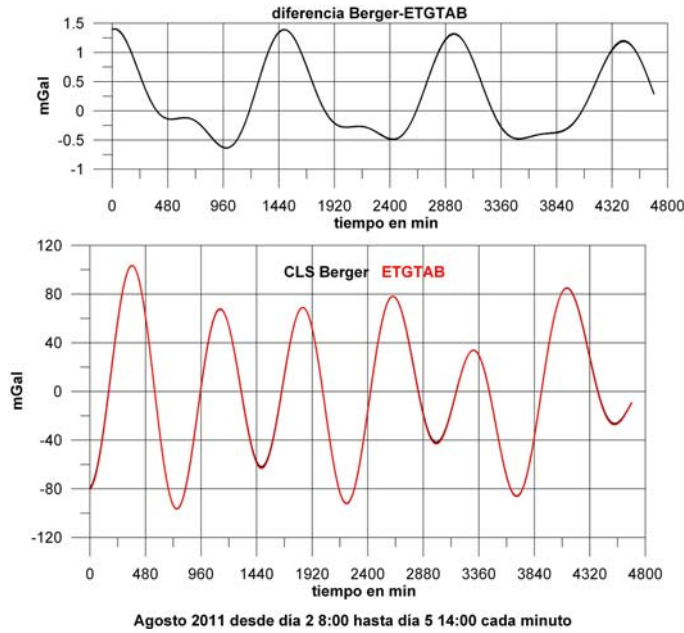


Fig. V-4. Izquierda: Comparación del efecto de CO con los modelos de Schwiderski, Fes2004 o Csr30 para los días 3, 4 y 5 de agosto de 2011. Derecha: diferencias entre modelos.

En los momentos de máximas y mínimas correcciones se pueden encontrar diferencias (Figura V-4 derecha) de hasta  $\pm 4 \mu\text{Gal}$ , diez veces más que la encontrada p.e. para mayo de 2012 (Figura V-1). Sin

embargo, para estos mismos días las diferencias entre los modelos del efecto LS no experimentan variaciones tan importantes (Figura V-5), manteniéndose en el orden de  $\pm 1 \mu\text{Gal}$ .



**Fig. V-5 Comparación de efecto LS con los modelos de Berger y ETGTAB para los días 2 a 5 de agosto de 2011.**

*En definitiva, resulta menos crítica la selección del modelo de variación Luni-Solar, con diferencias no superiores a los  $1.5 \mu\text{Gal}$ , mientras que puede que en determinados momentos no resulte tan indiferente qué modelo de carga oceánica utilizar, ya que las diferencias pueden pasar de ser del orden de  $0.2 \mu\text{Gal}$  a  $4 \mu\text{Gal}$ . El alto gradiente de variación del efecto LS podría, en principio, explicar en algún caso las variaciones de las lecturas del gravímetro cuando se opera con segmentos de medición de larga duración (superiores a los 10 minutos), lo que no parece ser el caso de los gradientes de variación del efecto CO, unas treinta veces inferiores.*

### V-1.2 Comparación con la corrección LS del gravímetro Scintrex CG5

El gravímetro Scintrex CG5 proporciona las lecturas corregidas de efecto Luni-Solar calculadas con el modelo de Longman (cuyo valor se facilita en la variable TIDE). En la Figura V-6, gráfico a, se reproduce la corrección de Longman para las lecturas efectuadas el 18-21 mayo de 2012, cada 4 minutos durante 72 h, superpuesta a la calculada por los modelos ETGTAB y Berger. Aunque aparentemente las correcciones LS son las mismas, analizando sus diferencias en detalle se aprecia que entre el modelo Berger y el Longman hay diferencias de hasta 4  $\mu\text{Gal}$ , y además estas diferencias oscilan con la misma cadencia que la gravedad corregida por Longman (gráfico c), siguiendo el efecto de carga oceánica, de lo que puede deducirse que es posible que el modelo de Longman deje un residuo superior al de Berger respecto de la evaluación del fenómeno físico real, por el diferente tratamiento que dan a la elasticidad de la Tierra.

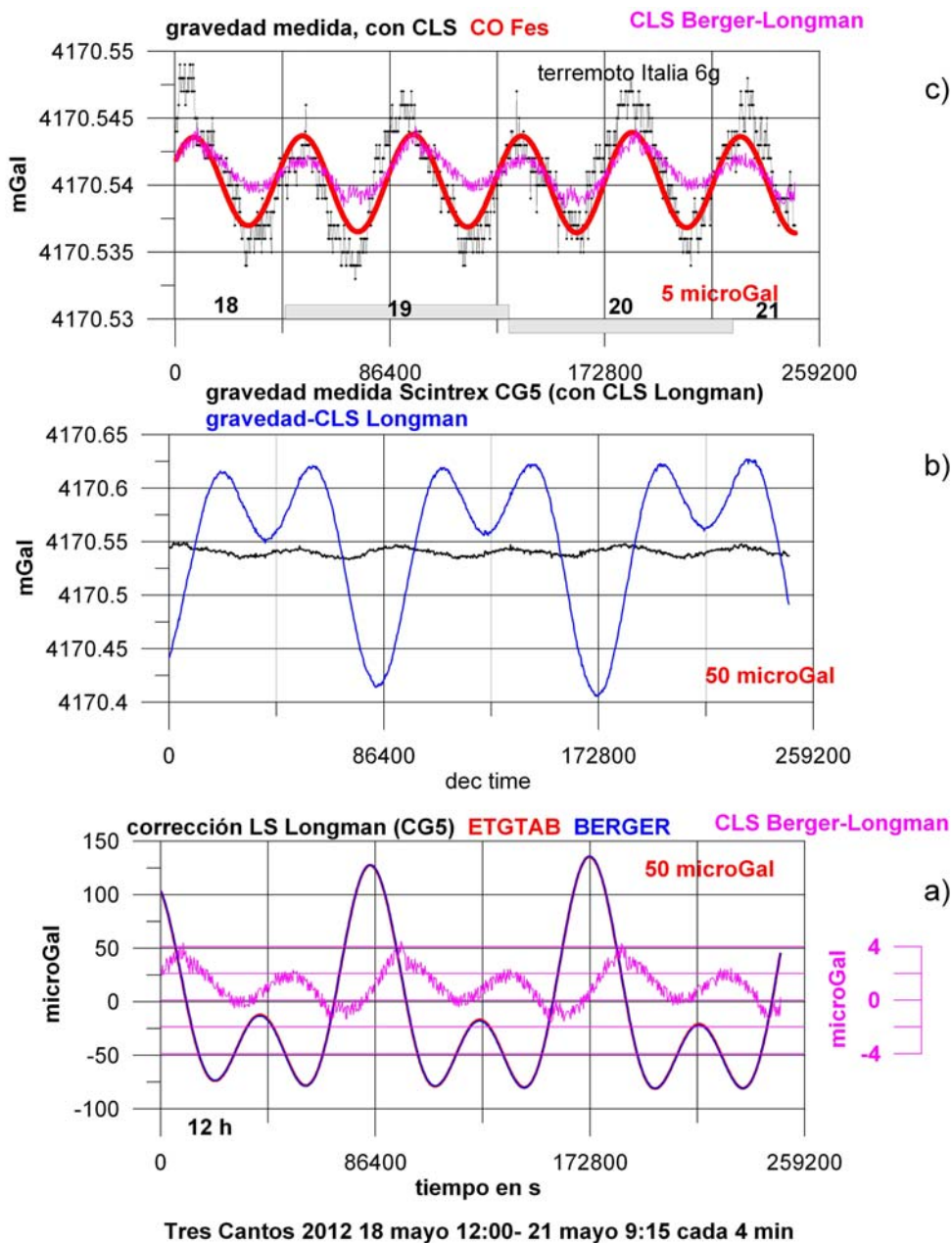


Fig. V-6 a) Comparación de efecto LS con los modelos de Longman, Berger y ETGTAB para los días 18 a 21 de mayo de 2012. b) gravedad medida con CLS y sin CLS. c) Comparación entre la gravedad corregida de LS y el efecto CO; en este gráfico también se incluye la diferencia entre las CLS por el modelo Longman y Berger.

En el gráfico b de la Figura V-6 se representa la gravedad medida por el Scintrex CG5, con la corrección LS de Longam, y suprimiendo dicha corrección, verificándose que una vez aplicada la corrección LS, que alcanza valores de más de 100  $\mu\text{Gal}$ , las mediciones permanecen casi constantes con valor de 4170.54 mGal. Sin embargo, examinadas en detalle (gráfico c) se aprecia una oscilación de  $\pm 5 \mu\text{Gal}$ , con carácter periódico, debidas fundamentalmente al efecto de carga oceánica, como lo demuestra la superposición de dicho fenómeno sobre el mismo gráfico.

Otro ejemplo comparando el modelo de Longman se presenta en la Figura V-7, para un periodo de 22 horas el 12-13 de julio de 2011, con lecturas en punto fijo cada 90 s. Las diferencias entre correcciones LS según el modelo de Longman, Berger y ETGTAB son del orden de los 2  $\mu\text{Gal}$ . Una vez corregida de LS por Longman, la lectura es estable entorno a 4092.30 mGal, con oscilaciones que siguen el periodo de la carga oceánica (parte superior de la Figura V-7); comparada la evolución de la diferencia entre los modelos de LS Berger y Longman con la gravedad corregida de efecto LS por Longman, no es en este caso tan aparente que el modelo de Longman deje un residuo de cadencia igual a la carga oceánica, como se observaba en el ejemplo anterior.

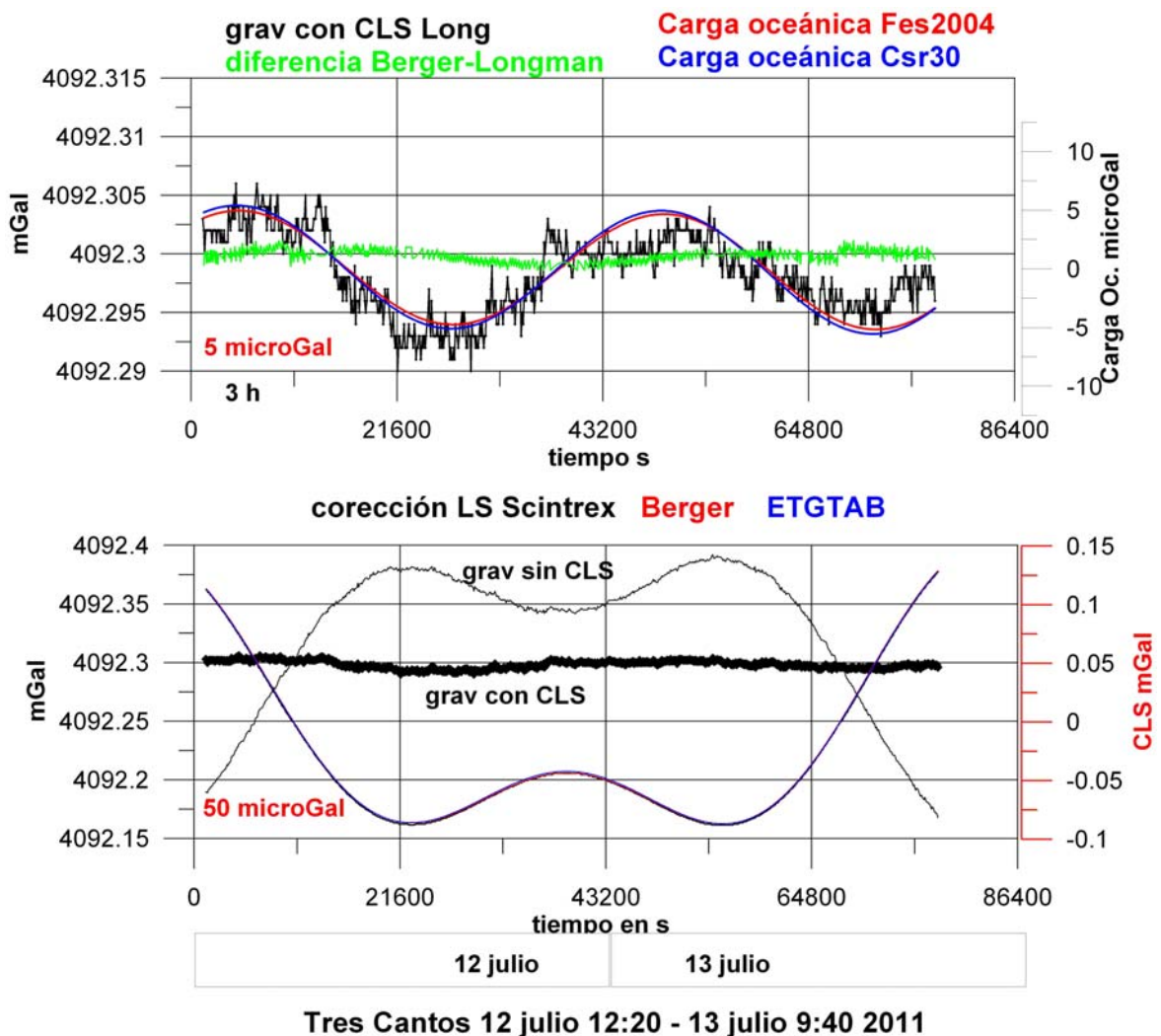


Figura V-7. Parte inferior: comparación entre la CLS por los modelos de Longman (Scintrex), Berger y ETGTAB. Gravedad con y sin CLS. Parte superior: gravedad corregida de LS comparada con el efecto de CO según los modelos Fes y Csr. Se ha añadido la diferencia entre las CLS de Longman y Berger.



Otro aspecto a considerar es la diferencia debida a la precisión de cálculo. Como se muestra en el detalle de la Figura V-8, para un intervalo de 18 h, mientras que los modelos de Berger y ETGTAB tienen un aspecto continuo, ya que un cálculo numérico puede hacerse con el número de decimales que sea, las proporcionadas por el gravímetro CG5 con el modelo de Longman (variable TIDE) se dan con precisión de 0.001 mGal, y por lo tanto siguen un aspecto escalonado de 1µGal. Aunque desde el punto de vista de precisión pensamos que no es realista la apreciación de más de 0.5 µGal, este aspecto numérico hay que tenerlo en cuenta en las diferencias encontradas entre el algoritmo de Longman y otros, ya que resulta en ocasiones una cuestión de pretendida precisión de cálculo sin responder a la realidad del fenómeno físico.

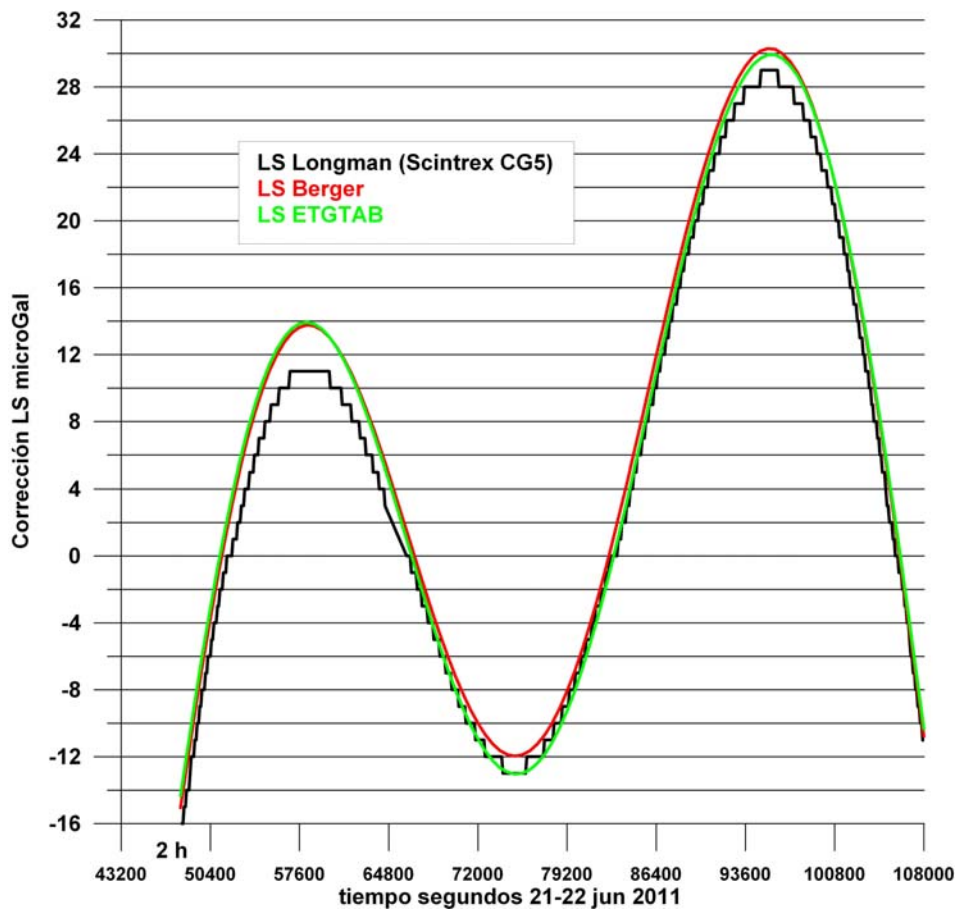


Fig. V- 8 Comparación entre las corrección Luni-Solar calculada con los modelos de Longman, Berger y ETGTAB, mostrando la diferencia añadida por la precisión de cálculo.

*Puede concluirse que el modelo de Logman proporciona valores inferiores de CLS, con diferencias con los modelos proporcionados por Quick-Tide de hasta 4 µGal, aunque depende del día, cómo ya se ha observado que ocurre para el resto de los modelos. Por cuestiones conceptuales los modelos de Berger y ETGTAB deben ser usados preferentemente.*

## V-2 RESULTADO DE LA APLICACIÓN DE LAS CORRECCIONES LS Y CO A LAS LECTURAS DEL CG5

Para el registro de 24 horas presentado en la Figura V-7a, se muestra en la Figura V-9a la diferencia entre la CLS por los métodos de Berger, ETGTAB y Longman, comparados con la evolución de la CO: las correcciones dadas por Berger y ETGTAB son superiores a las dadas por Longman (diferencias positivas de hasta 2  $\mu\text{Gal}$ ), siendo las de Berger mayores que las de ETGTAB dependiendo de la hora, y también con diferencias inferiores a 2  $\mu\text{Gal}$ . En la Figura V-9b se muestra el resultado de corregir las lecturas del gravímetro con los diferentes modelos de LS. Aunque no aparece evidente qué modelo puede ser el más apropiado, sí que se pone de relieve que con todos se siguen las oscilaciones del efecto de CO, así como la diferencia en el modo de aplicación: mientras que el gravímetro aplica Longman “a saltos” de 1  $\mu\text{Gal}$ , utilizando los otros modelos resulta en valores con mejor “seguimiento” del efecto de CO.

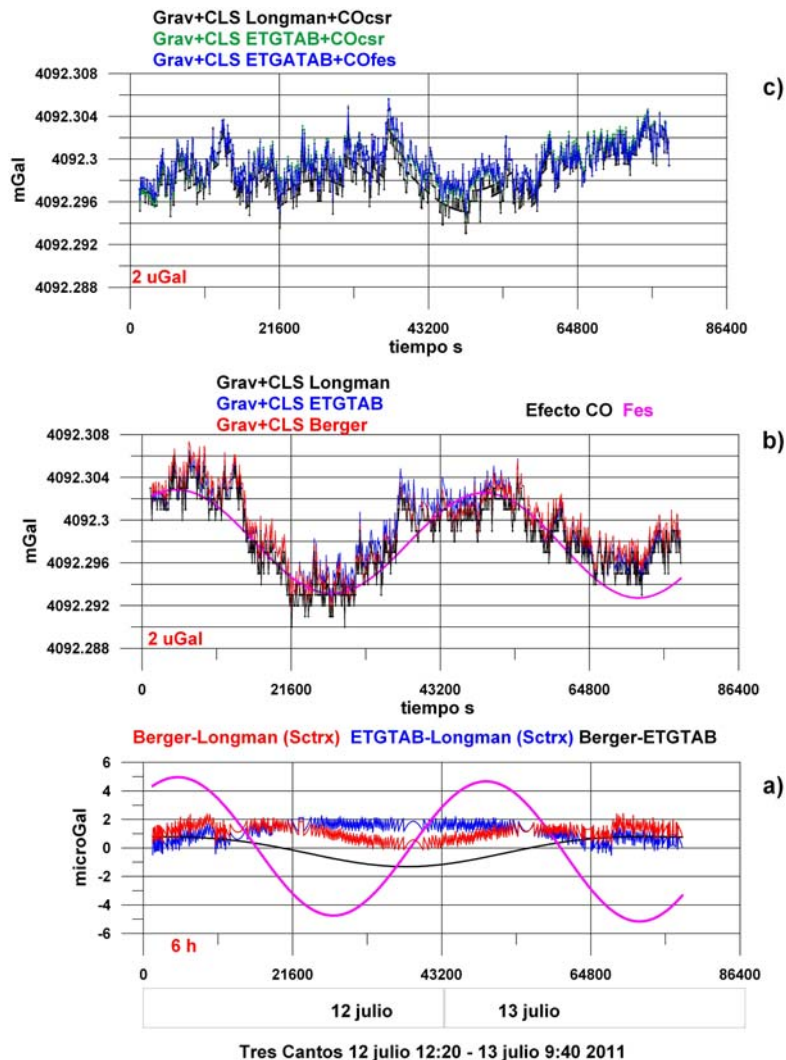


Fig. V-9 a) diferencias entre los diversos métodos de CLS para el periodo 12-13 julio 2011. b) valores de gravedad leídos por el gravímetro Scintrex CG5 con CLS por Berger, Longman y ETGTAB. Se ha superpuesto el efecto de CO. c) Valores anteriores con corrección de CO.

Todos estos valores se han corregido del efecto de carga oceánica utilizando los modelos de FES y Csr (Figura V-9c). El valor de gravedad podría estimarse en 4092.298 mGal con oscilaciones entre 4092.294 y 4092.304, es decir de  $\pm 4 \mu\text{Gal}$ , apareciendo los valores con CLS de Longman algo diferenciados.

Estos mismos cálculos se han efectuado para las lecturas 18 al 21 de mayo de 2012 para un periodo de 72 horas (Figura V-10). Las diferencias entre las correcciones LS por los tres métodos considerados de Longman, ETGTAB y Berger (gráficos a y b) vuelven a mostrar valores inferiores para Longman, aunque en este caso las diferencias con Longman parecen seguir el mismo ciclo de variación que la carga oceánica, lo que significaría que para estas fechas Longman incluiría alguna parte de dicho efecto. Esta correspondencia no la siguen las diferencias entre Berger y ETGTAB.

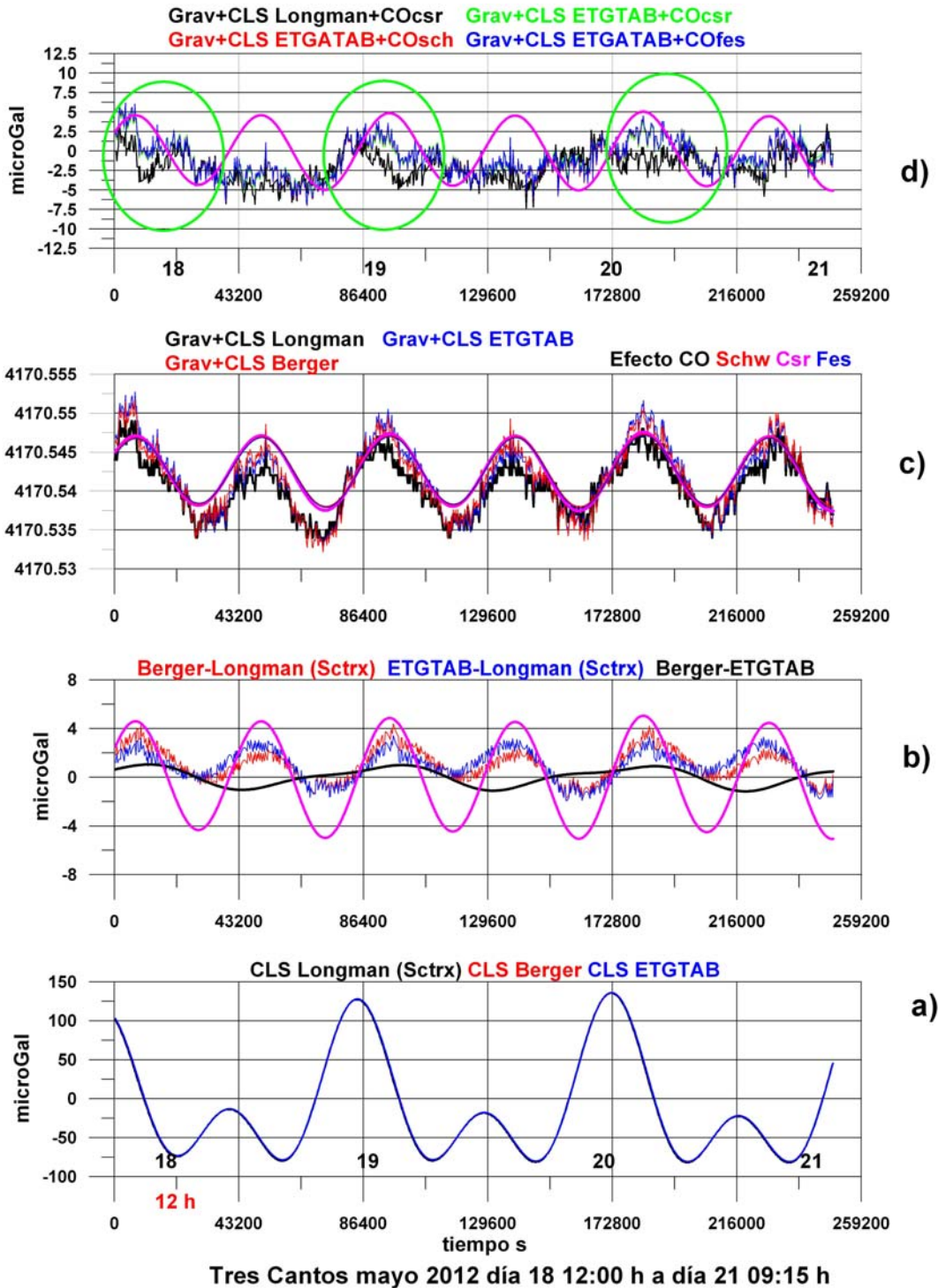


Fig. V-10 a) CLS por los métodos de Berger, Longman y ETGTAB para el periodo 18 al 21 de mayo de 2012 b) diferencias entre los diversos métodos de CLS. c) valores de gravedad leídos por el gravímetro Scintrex CG5 con CLS por Berger, Longman y ETGTAB. Se ha superpuesto el efecto de CO. d) Valores anteriores con corrección de CO. Se han señalado (círculos en verde) las principales diferencias.

Los valores de gravedad corregidos de LS por los diversos modelos (gráfico c) muestran las mismas desviaciones respecto del efecto de CO, cuya variación real es posiblemente la medida por el gravímetro, si no hay otras causas de distorsión. Al aplicar la corrección de carga oceánica (gráfico d) para cualquier método de corrección LS y de CO se aprecian oscilaciones del orden de  $\pm 5 \mu\text{Gal}$  entorno del valor medio, observándose además en este caso una clara diferencia entre la utilización de la CLS por Longman y el resto (marcadas con círculo de color verde en el gráfico d), que se presenta todos los días en las horas centrales y tienen por lo tanto cierta periodicidad. Esta diferencia proviene de la ya observada coincidencia (gráfico b) entre las diferencias de correcciones con Longman y el ciclo de variación de la CO, y serán analizadas posteriormente.

*Estas observaciones aconsejan nuevamente sustituir la corrección de Longman efectuada por el gravímetro por otros modelos.*



### V-3 EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA POSICIÓN GEOGRÁFICA Y ALTITUD

A fin de verificar la influencia de la posición geográfica y de la altitud en el valor de las correcciones LS y CO, se han calculado las correcciones Luni-Solar según los métodos de Berger y ETGTAB y de carga oceánica según Schwiderski, Csr y Fes para dos puntos distanciados unos 14 km (10 km en sentido N-S y 10 km en sentido E-O), correspondientes a los límites de la zona de trabajo en la Sierra de las Nieve (Málaga), comprendida entre las coordenadas 5.04° W - 5.14° W y 36.4° N-36.5° N. Para cada punto se han calculado las correcciones para las cotas 1050 y 1750 m, resultando:

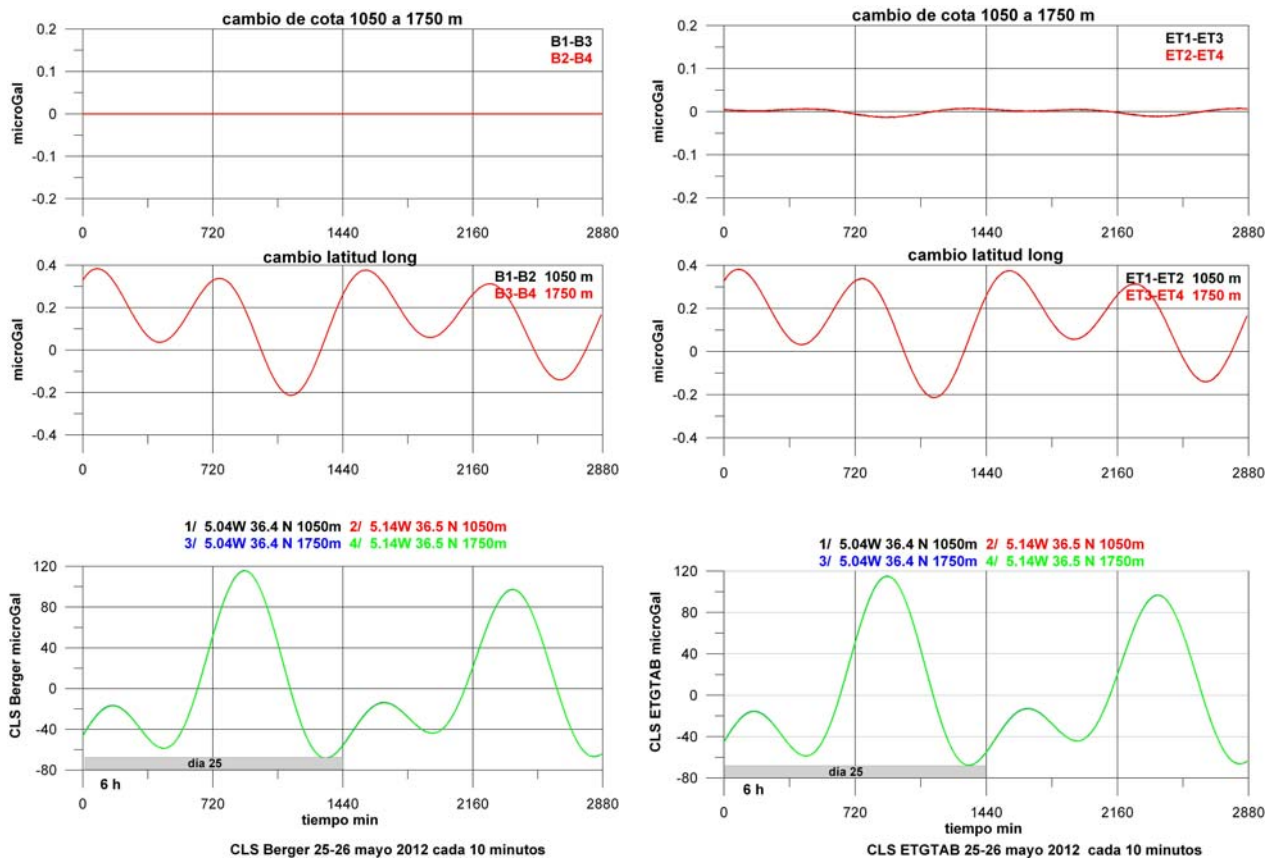
**Punto 1:** 5.04° W 36.4° N 1050 m

**Punto 2:** 5.14° W 36.5° N 1050 m

**Punto 3:** 5.04° W 36.4° N 1750 m

**Punto 4:** 5.14° W 36.5° N 1750 m

de tal forma que los puntos 1 y 2 (o 3 y 4) tienen la misma cota y diferentes coordenadas, mientras que 1-3 (o 2-4) tienen las mismas coordenadas pero diferente cota. Los valores se han calculado cada 10 minutos durante 48 h, los días 25 y 26 de mayo de 2012 (utilizando los valores decimales de las coordenadas geográficas elegidas, que son longitud 5° 2' - 5° 8' y latitud 36° 24' - 36° 30' respectivamente).



**Fig. V-11 CLS por Berger (izquierda) y ETGTAB (derecha) para dos puntos distanciados 10 km en dirección E-W y 10 km en dirección N-S, a cotas de 1050 y 1750 m. 25-26 mayo 2012.**

Respecto del efecto de marea (Figura V-11), el cambio de cota no supone ninguna diferencia en la corrección, mientras que el cambio de posición geográfica da lugar a diferencias entre 0.4 y -0.2  $\mu$ Gal según el momento del día, idénticos para los métodos de Berger y ETGTAB.

La corrección de carga oceánica por el método de Schwiderski (Figura V-12) es prácticamente la misma en los cuatro puntos propuestos, presentando una variación de hasta  $\pm 0.1 \mu\text{Gal}$  con la posición geográfica y  $\pm 0.06 \mu\text{Gal}$  con la altitud.

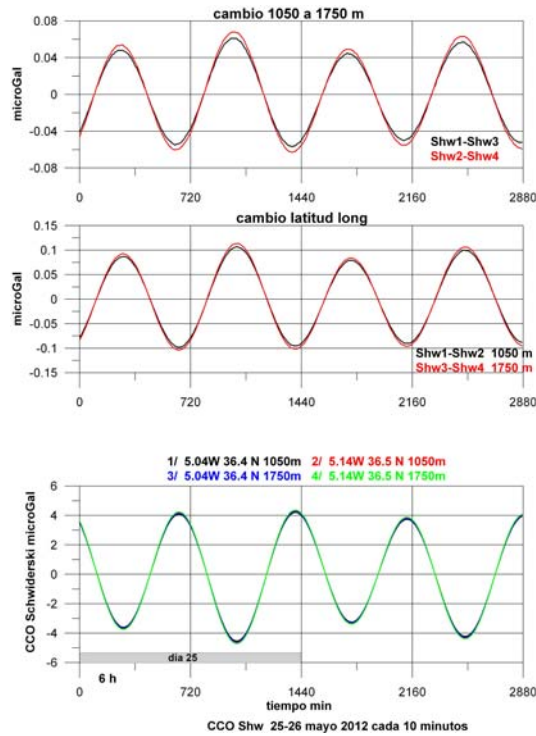


Fig. V-12 Variación de la CCO por Schwiderski con la posición geográfica y la cota, para dos puntos distanciados 10 km en dirección E-W y 10 km en dirección N-S, a cotas de 1050 y 1750 m. 25-26 mayo 2012.

El método Csr (Figura V-13) da lugar a variaciones de corrección con la cota, con diferencias de hasta  $\pm 1 \mu\text{Gal}$ , siendo prácticamente invariable con la posición geográfica ( $\pm 0.2 \mu\text{Gal}$ ).

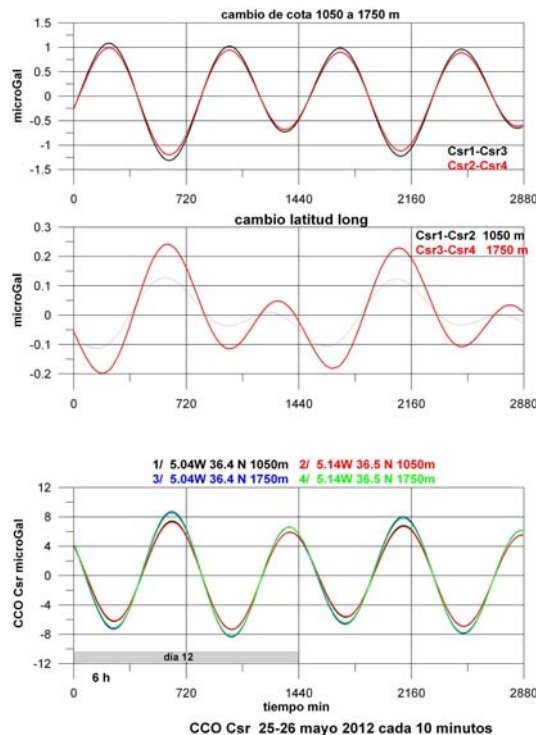


Fig. V-13 Variación de la CCO por Csr con la posición geográfica y la cota, para dos puntos distanciados 10 km en dirección E-W y 10 km en dirección N-S, a cotas de 1050 y 1750 m. 25-26 mayo 2012.

El método FES (Figura V-14) también da lugar diferentes correcciones con el aumento de cota, con diferencias de hasta  $\pm 0.8 \mu\text{Gal}$ , así como con la variación de posición geográfica, con diferencias de hasta  $\pm 1.5 \mu\text{Gal}$ .

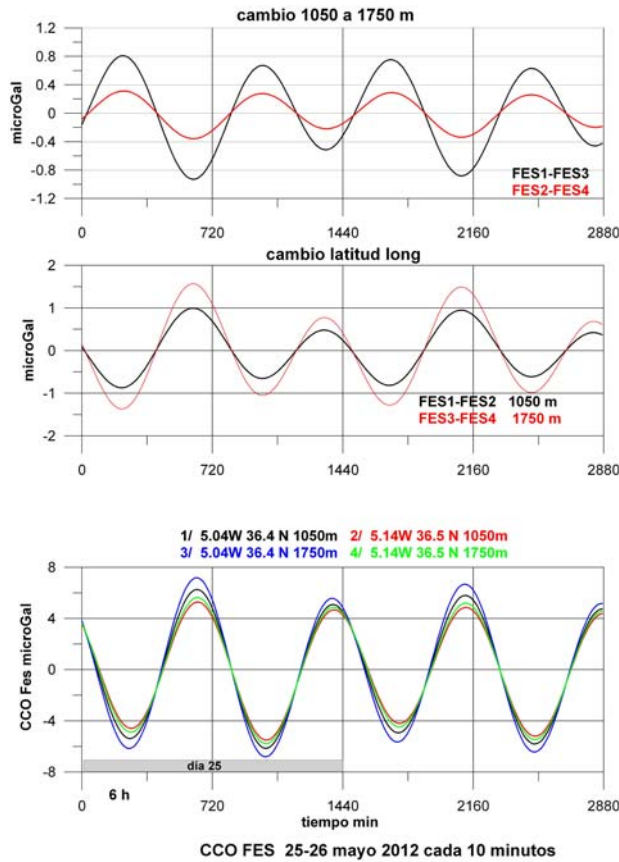


Fig. V-14 Variación de la CCO por Fes con la posición geográfica y la cota, para dos puntos distanciados 10 km en dirección E-W y 10 km en dirección N-S, a cotas de 1050 y 1750 m. 25-26 mayo 2012.

Dentro de esta misma área, para una distancia de unos 50 km entre puntos: Ronda (5.09W 36.75N y 720 m de altura) y 5.04W 36.4N a 1000 m, se han calculado las correcciones LS ETGTAB y CO (Figura V-15), existiendo diferencias hasta del orden de  $1 \mu\text{Gal}$  en ambos efectos.

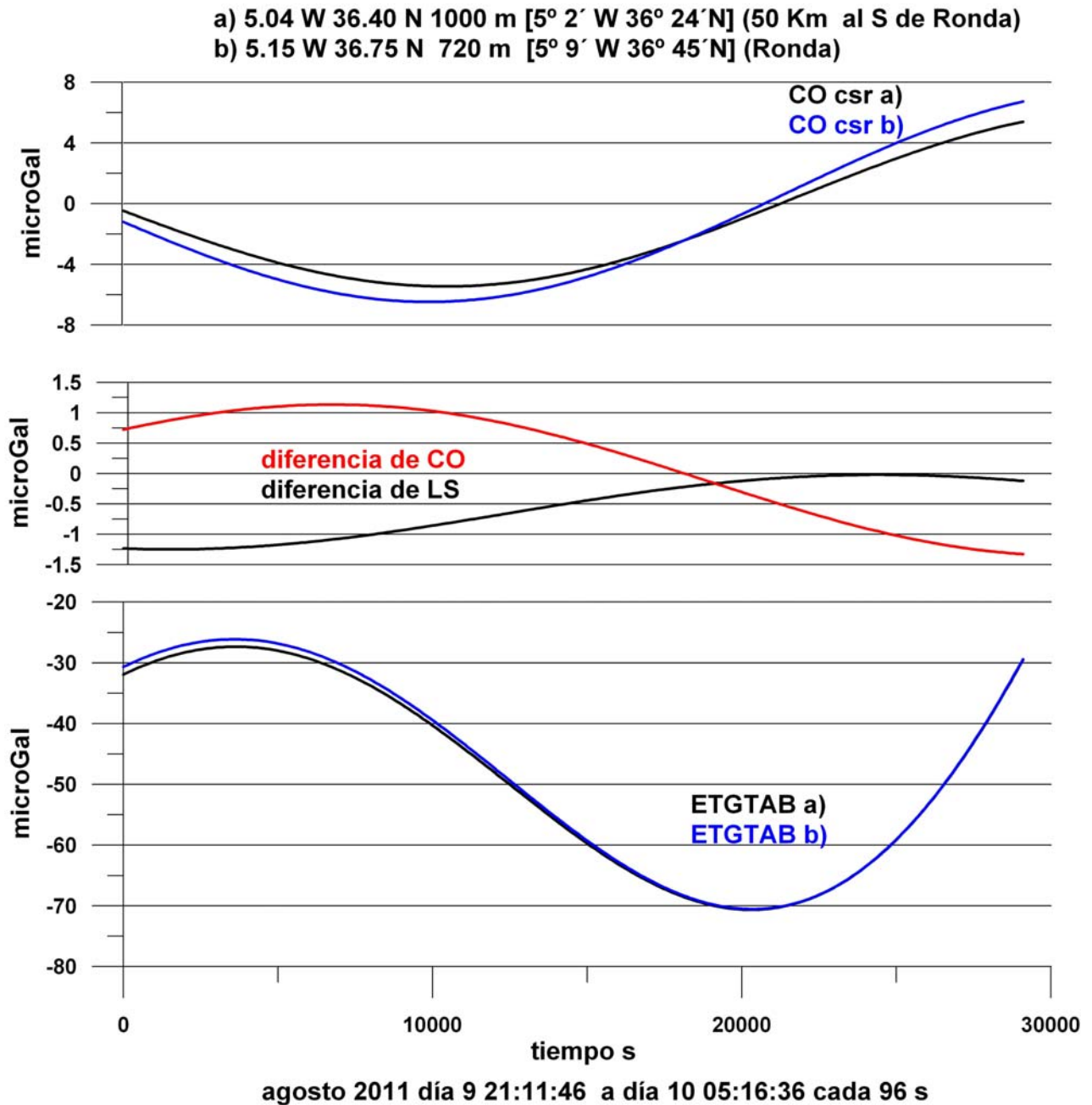


Fig. V-15 Comparación entre las correcciones LS ETGTAB y CO Csr calculadas para dos posiciones distanciadas 50 km y con diferencia de 300 m de cota.

*En conclusión: el método de Schwiderski puede ser utilizado calculando todas las correcciones para una posición y cota media de la zona, sin cometer errores superiores a  $\pm 0.1 \mu\text{Gal}$ ; si se utiliza el método Csr podrían utilizarse unas coordenadas únicas, pero sería conveniente emplear al menos dos grupos de cotas, siendo el error total inferior a  $\pm 0.2 \mu\text{Gal}$ ; con el modelo Fes sería conveniente utilizar las coordenadas y cotas correspondientes, al menos para dos sectores de la zona, siendo posiblemente el método más adecuado.*



## V-4 ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS DE CORRECCIÓN PARA INTERVALOS DE POCAS HORAS

Todos los métodos de cálculo del efecto de marea y de carga oceánica son, en definitiva, aproximaciones a los fenómenos de variación de gravedad realmente existentes. En gravimetría absoluta interesa conocer el valor absoluto de las correcciones, por lo que puede tener mayor repercusión haber utilizado un cierto método, cuando la realidad se hubiera aproximado mejor por otro. En gravimetría relativa lo realmente importante es controlar las variaciones producidas en los periodos de tiempo de duración de los programas (entre la lectura inicial y final en base), y por lo tanto su repercusión sobre el cálculo de la deriva de trabajo y de las anomalías.

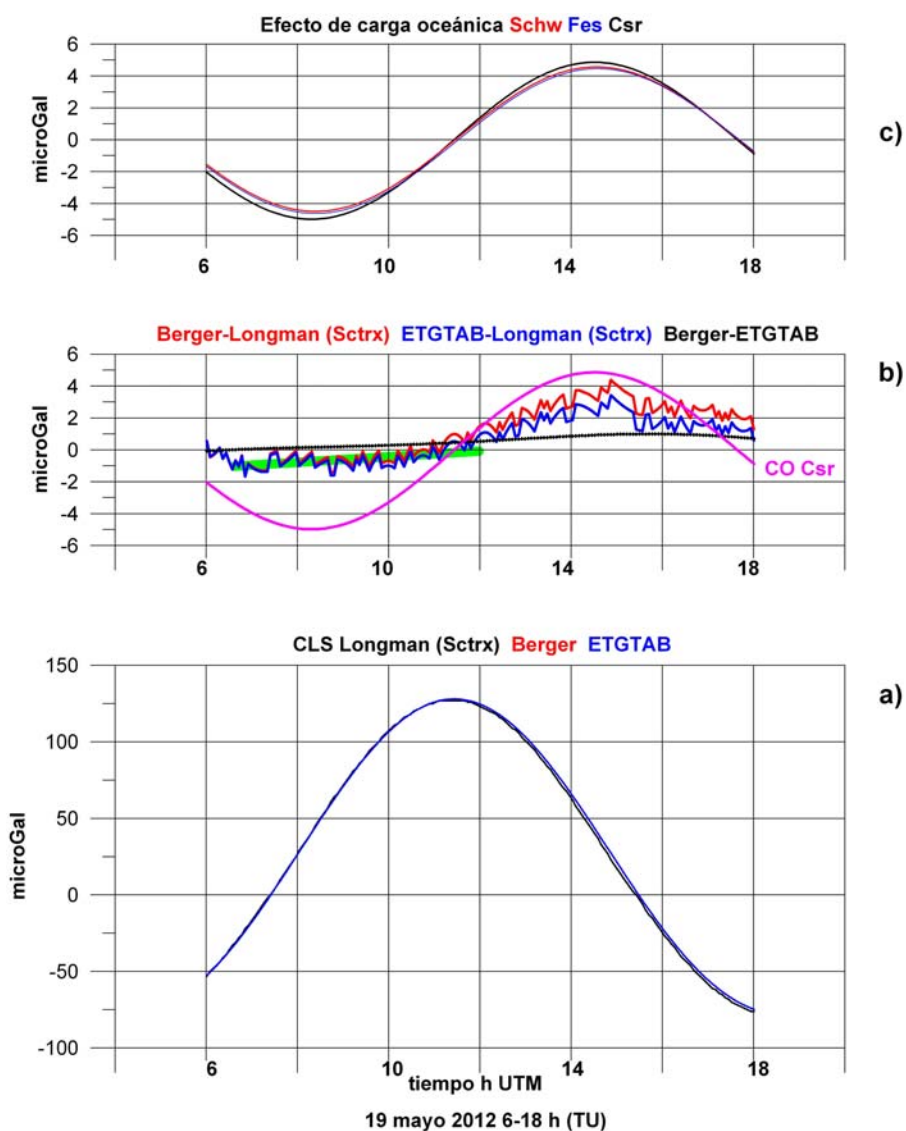


Fig. V-16 Detalle de la evolución y diferencias de los fenómenos de CLS y CCO según el método utilizado para su cálculo, en un periodo de pocas horas.

Para el tiempo entre las 6 h y las 18 h (TU), que es en el que usualmente se mide la gravedad en campo, los mayores gradientes de variación de la corrección Luni-Solar se presentan, en general, desde las 6 hasta las 10 h (creciente) y desde las 13 hasta las 18 h (decreciente) (Figura V-16, para el 19 de mayo de 2012, gráfico a). El utilizar el algoritmo de Berger o el de ETGTAB es prácticamente indiferente (gráfico b),

ya que entre ambos no hay diferencia en el periodo 6-10 h, siendo inferior a 1  $\mu\text{Gal}$  para el resto del día. Sin embargo, como el gravímetro CG5 proporciona la corrección de Longman, interesa resaltar que las diferencias de haber utilizado Berger o ETGTAB son del orden de -1  $\mu\text{Gal}$  hasta las 12 h (Longman sobre-corrige las lecturas), pasando luego hasta 4  $\mu\text{Gal}$  (Longman no corrige suficientemente las lecturas). Excepto para el periodo de las 14-16 h, las diferencias entre correcciones son aproximadamente de evolución lineal con el tiempo (línea de color verde del gráfico b), por lo que serían compensadas (incorporadas) en el cálculo de la deriva de trabajo del instrumento. Estas observaciones sólo son en rigor válidas para el día considerado en el ejemplo, ya que se ha visto que las diferencias no son siempre las mismas.

Algo distinto ocurre con la corrección del efecto de carga oceánica, Figura V-16, gráfico c. Al no estar los valores suministrado por el gravímetro corregidos de este efecto, pero si afectados, puede suceder que los cierres en base se efectúen cuando esta corrección es aproximadamente igual (p.e. a las 6 y a las 11 h), por lo que no afectarían al cálculo de la deriva; sin embargo, al no ser su evolución lineal en este intervalo, el efecto de CO daría lugar a falsas “diferencias” entre base y estación dependientes del modelo utilizado. Para un cierre de bases entre las 10 y las 13 h, la diferencia de 8  $\mu\text{Gal}$  (en este ejemplo), falsearía la deriva, aunque la CCO quedaría incorporada a la misma, siendo igualmente “corregida” en las estaciones al ser su variación lineal en este intervalo de tiempo y prácticamente la misma con cualquier modelo.

*En conclusión, resulta completamente necesario efectuar la corrección de carga oceánica antes de calcular los programas, siendo la diferencia entre utilizar un sistema u otro del orden de  $\pm 0.5 \mu\text{Gal}$ , como se vio anteriormente. Otra conclusión es que diferencias de  $\pm 2 \mu\text{Gal}$  en las anomalías (diferencias de gravedad entre base y estación) medidas en distintos programas son prácticamente insuperables (al margen de la precisión instrumental), ya que pueden provenir de la incertidumbre de cuál es la corrección que realmente está compensado mejor el efecto real de las variaciones exteriores astronómicas y oceánicas.*

## V-5 ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS DE CORRECCIÓN PARA INTERVALOS INFERIORES A UNA HORA

Se va a considerar ahora la influencia de las diferencias según el método utilizado en las correcciones LS y CO en las variaciones de las lecturas efectuadas en cada estación. Aunque el tiempo utilizado en efectuar una lectura en gravimetría ordinaria es de muy pocos minutos, la fiabilidad necesaria en microgravimetría hace que se utilicen varios ciclos de lectura, que pueden ocupar del orden de 15-20 minutos. En la Figura V-17 se representa la variación del efecto LS por Berger y de la CO por Schwiderski durante 240 minutos, a intervalos de 10 minutos. Para periodos de 15-20 minutos la variación de la carga oceánica es siempre inferior a 1  $\mu\text{Gal}$ , mientras que la variación Luni-Solar puede alcanzar los 6  $\mu\text{Gal}$ . Ambas pueden considerarse de variación lineal con el tiempo en intervalos inferiores a los 30 minutos. En cualquier caso, la lectura suministrada por el CG5 está ya corregida del efecto LS, por lo que solo restaría observable su diferencia con el efecto de marea real.

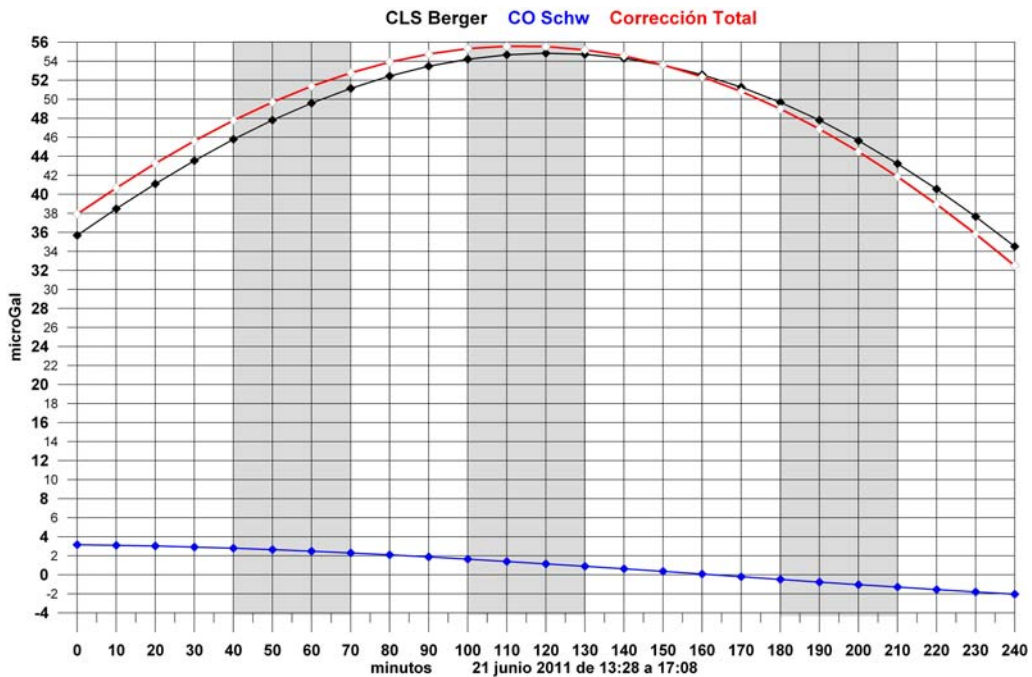


Fig. V-17 Variación del efecto LS y de CO calculada cada 10 minutos. Se han sombreado diversos intervalos de 30 minutos. El gradiente de la CCO es constante durante el periodo considerado (13-17 h), pero el de la CLS depende de la hora.

Como ya fue comentado anteriormente (Figura V-8), las lecturas de gravedad, así como los valores de la corrección LS de Longman calculadas por el gravímetro Scintrex CG5, se proporcionan con la precisión de 1  $\mu\text{Gal}$ , mientras que el resultado de los cálculos efectuados por el software QuickTide (corrección LS por Berger, ETGTAB; CCO por Schwiderski, Csr30 y Fes2004) se expresa hasta 0.01  $\mu\text{Gal}$  (lo que no significa que tenga dicha precisión real). Esto hace que la corrección LS del CG5 tenga el aspecto de ser aplicada a “saltos” de 1  $\mu\text{Gal}$  (Figura V-18a), lo que tiene su repercusión sobre el aspecto gráfico de las diferencias entre este modelo y los demás, tanto más observables cuanto menor sea el intervalo de tiempo considerado.

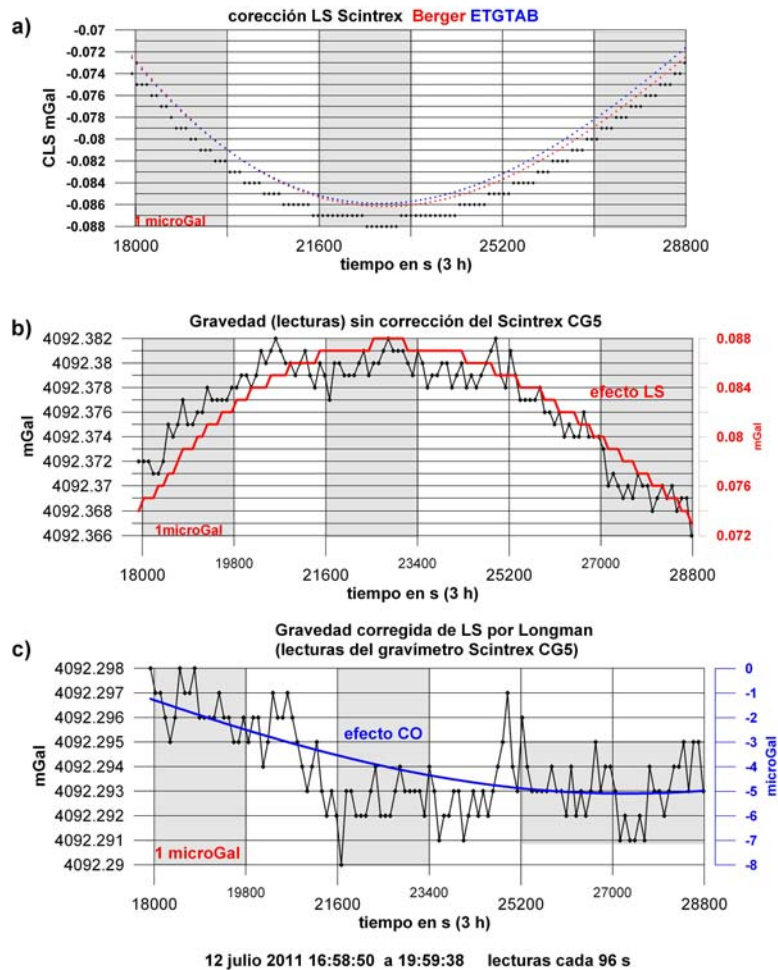


Fig. V-18 Análisis de las variaciones de gravedad y lecturas del gravímetro en intervalos inferiores a 1 hora. Registro de 3 h, con lecturas cada 96 s el 12 de julio de 2011. Se han sombreado diferentes periodos de 30 minutos.

Aunque el efecto de marea fuera de variación tan continua como lo presentan las correcciones de Berger y ETGTAB (Figura V-18 gráfico a), las lecturas del gravímetro (valores desprovistos de la corrección LS) van siguiendo este efecto con oscilaciones como mínimo de 1  $\mu$ Gal (Figura V-18, gráfico b), a los que hay que añadir otras oscilaciones más puntuales. Los valores ya corregidos de LS (Figura V-18, gráfico c) van siguiendo la tendencia del efecto de carga oceánica, con las mismas oscilaciones debidas a la precisión de 1  $\mu$ Gal a las que se superponen picos aleatorios de hasta  $\pm 4$   $\mu$ Gal. Cuando el gradiente del efecto de carga oceánica es muy pequeño (p.e. última hora, zona sombreada a partir de 25200 s en la Figura V-18 c), se puede apreciar bien la forma de funcionar del gravímetro: los valores oscilan entre 4092.292 y 4092.293 mGal, aunque con saltos que llegan hasta 4092.294 o 4092.291, o incluso 4292.295.

Efectuadas la corrección LS y de CO aun subsiste una variación de las lecturas con el tiempo. Para la primera hora del ejemplo de la Figura V-18, utilizando el algoritmo de Longman y de Csr el valor las lecturas está centrado en 4092.298, que disminuye a 4092.297 durante la segunda hora y vuelve a aumentar a 4092.298 en la tercera (Figura V-19). Durante cada periodo las oscilaciones responden a la precisión instrumental de  $\pm 1$   $\mu$ Gal, con oscilaciones durante intervalos de 2 a 5 minutos de hasta 4  $\mu$ Gal. El utilizar las correcciones con otros modelos (por ejemplo ETGTAB y Csr o Fes) supone elevar todos los valores de 1 a 2  $\mu$ Gal respecto de la corrección de Longman, pero, evidentemente, manteniendo las



mismas oscilaciones, que o bien son inherentes al funcionamiento del gravímetro o responden a algún otro fenómeno de variación externa no tenido en cuenta en las correcciones, pero a las que el gravímetro responde.

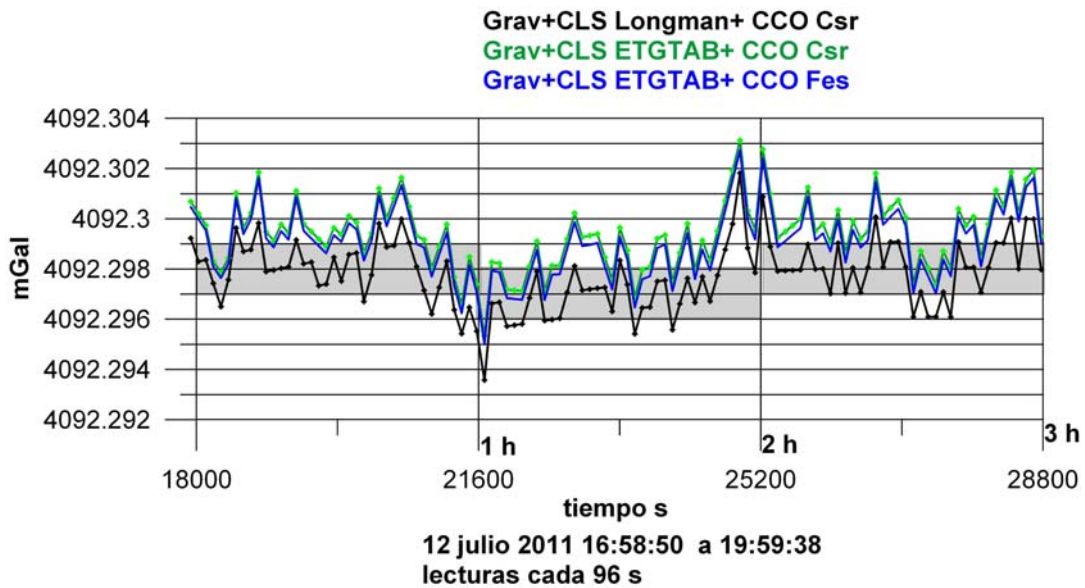


Fig. V-19 Lecturas del gravímetro durante el periodo considerado en la Figura V-18, con CLS por Longman y ETGTAB, y CCO por Csr y Fes.

Lo mismo puede apreciarse (Figura V-20) utilizando el método LS de Berger y ETGTAB con CCO de Fes: las oscilaciones siguen siendo las mismas, pero unos 2  $\mu\text{Gal}$  superiores. Para cortos periodos parece indiferente utilizar uno u otro método de corrección de carga oceánica, ya que produce diferencias inferiores a 0.5  $\mu\text{Gal}$  (Figura V-21).

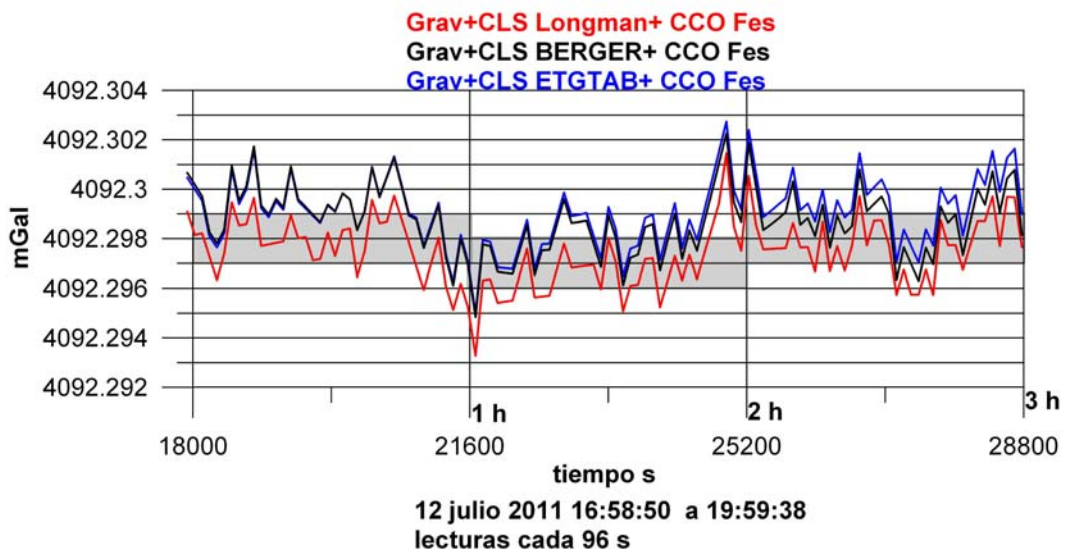


Fig. V-20 Lecturas del gravímetro durante el periodo considerado en la Figura V-18, con CLS por Longman, Berger y ETGTAB, y CCO por Fes.

*En conclusión, ningún método parece conseguir eliminar las oscilaciones de las lecturas, que son residuos debidos a otras causas.*

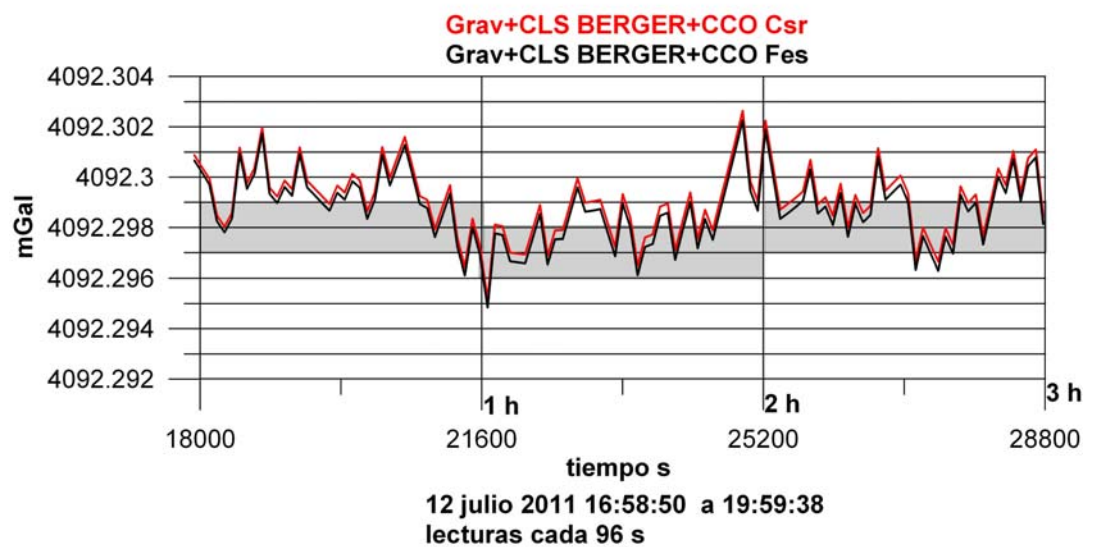
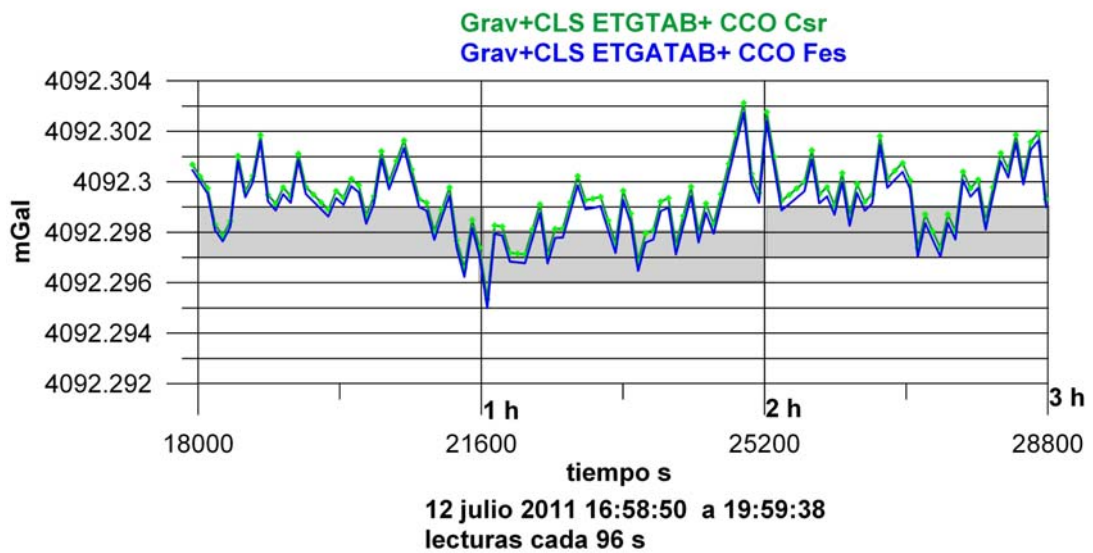
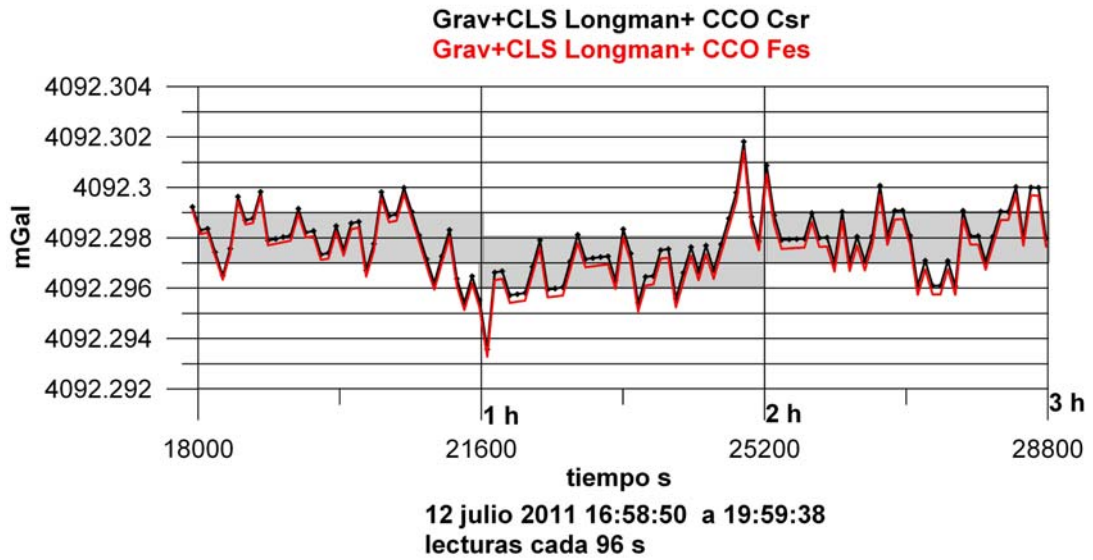


Fig. V-21 Comparación de las lecturas del gravímetro durante el periodo considerado en la Figura V-18, con CLS por Longman, ETGTAB y Berger, y CCO por Csr y Fes.

## V-6 VARIACIONES EN PERIODOS DE 10 MINUTOS (CICLOS DE LECTURA)

Aún cuando el gravímetro pueda considerarse estabilizado y las lecturas vayan variando de acuerdo con el efecto Luni-Solar y de carga oceánica, presentarán oscilaciones según ha sido anteriormente comentado. Se va a estudiar ahora cómo pueden afectar estas variaciones durante la duración de 5 a 10 ciclos de 90 s (valores cada 96 s), con un total de unos 8-16 minutos de tiempo de registro, suponiendo que estas oscilaciones se superponen a la deriva dinámica (de trabajo y de estabilización) que tiene lugar durante las lecturas reales en campo. Como ejemplo se han escogido cuatro momentos del día, para un registro estático del día 12 a las 12:20 h al día 13 a las 9:40 h, en julio de 2011, con ciclos de 90 s (Figura V-22):

- A) a unas 5 h de estabilización, en descenso del efecto de carga oceánica
- B) a las 7 h, durante un mínimo de CO
- C) a unas 9 h, en subida del efecto de CO
- D) en máximo de CO, a unas 12 h

En primer lugar, sin aplicar la CCO, durante el intervalo A (Figura V-22A), se aprecia claramente una tendencia a la subida de gravedad, aun cuando el efecto de CO es de bajada; se podría tomar un valor medio de 4092.296  $\mu$ Gal con desviación de  $\pm 2$   $\mu$ Gal, despreciando el pico de la segunda lectura. En el intervalo B (Figura V-22B) se sigue mejor la variación de CO; despreciando así mismo la tercera lectura se puede tomar el valor de 4092.294  $\pm 1$   $\mu$ Gal o de 4092.293. Durante el intervalo C (Figura V-22C), con efecto de CO creciente, las lecturas disminuyen, pudiéndose tomar como valor 4092.295  $\pm 1$   $\mu$ Gal, despreciando la segunda y tercera lecturas. En el intervalo D (Figura V-22D) la lectura es muy estable, correspondiéndose con 4092.299  $\pm 1$   $\mu$ Gal.

Este resultado muestra que durante la duración de estos ciclos no es apenas perceptible la variación del efecto de CO, ya que es inferior a 0.4  $\mu$ Gal, lo que significa que aunque se efectuara la corrección en tiempo real de CO no se modificaría sustancialmente la variación de las lecturas a lo largo del tiempo considerado, aunque si ocurre para el conjunto del registro, ya que las lecturas corregidas de LS siguen una oscilación con el mismo periodo que el efecto de carga oceánica, con valores extremos de 4092.290 mGal y 4092.305 mGal (valor medio de 4092.298  $\pm 8$   $\mu$ Gal).

Por lo tanto, sin que influya la deriva de trabajo y de estabilización del gravímetro, esta lectura oscila entre 4092.296, 4092.293, 4092.295 y 4092.299 mGal (rango de 6  $\mu$ Gal) según el momento del día en que es tomada, porque no está corregida de CO, aunque este efecto sea prácticamente constante durante todo el tiempo de medición de los 10 ciclos considerados.

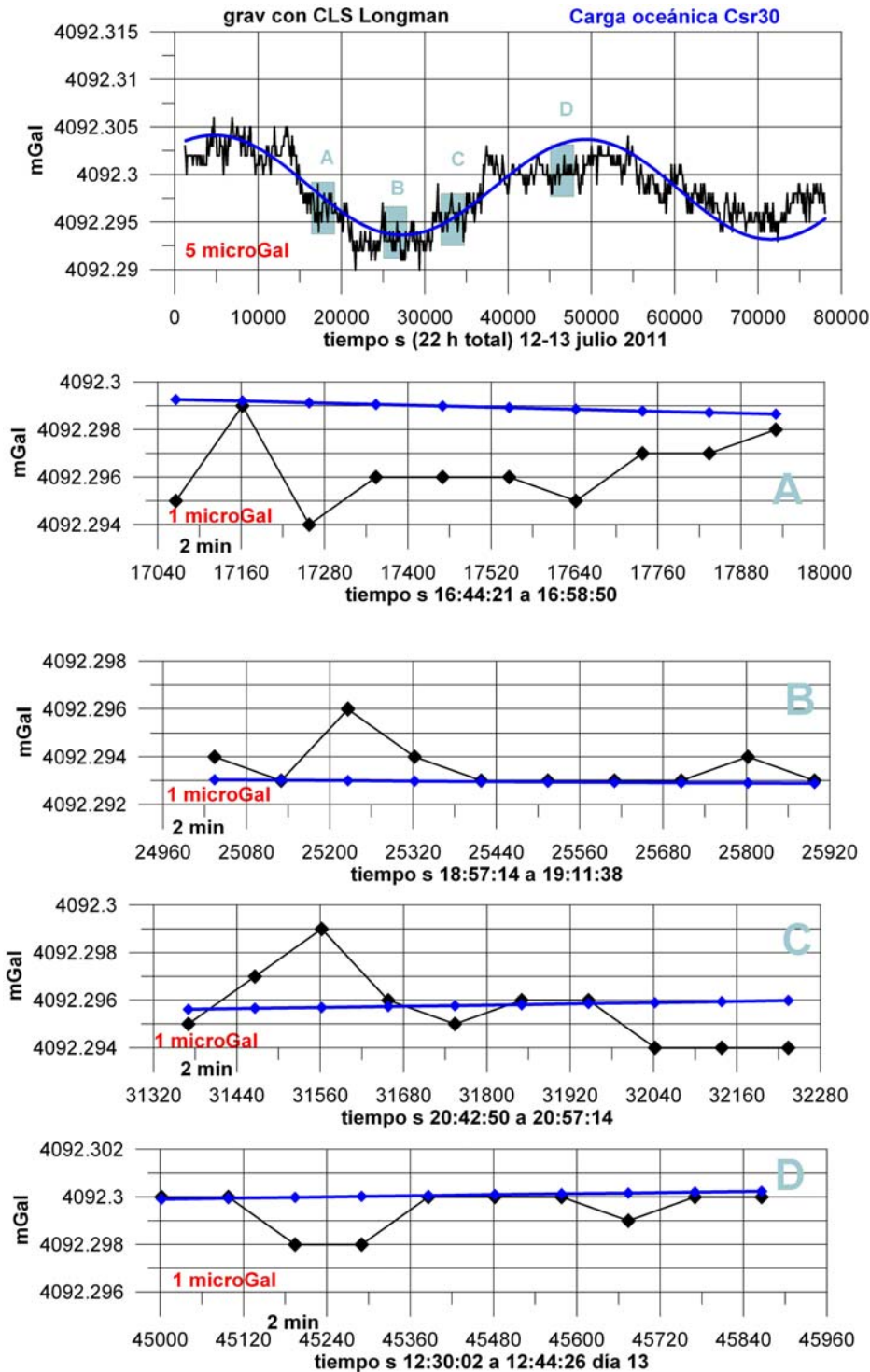


Fig. V-22 Variación de lecturas estáticas no corregidas de CO para periodos de unos 15 minutos. Día 13 julio 2011, ciclos de 90 s. La superposición de la CO a las lecturas es indicativa de la tendencia de dicho efecto.

Al aplicar la corrección de carga oceánica (Figura V-23), para lo que se ha elegido el modelo Csr, el resultado es que los valores anteriores sufren un desplazamiento prácticamente constante para cada grupo de ciclos, pasando los valores medios a 4092.297, 4092.298, 4092.299 y 4092.295 para los intervalos A, B, C y D respectivamente, valores mejor agrupados que los anteriores (rango de 4  $\mu$ Gal), aunque todavía subsiste una desviación entre la media de los tres primeros (4092.298) y el último (4092.295).



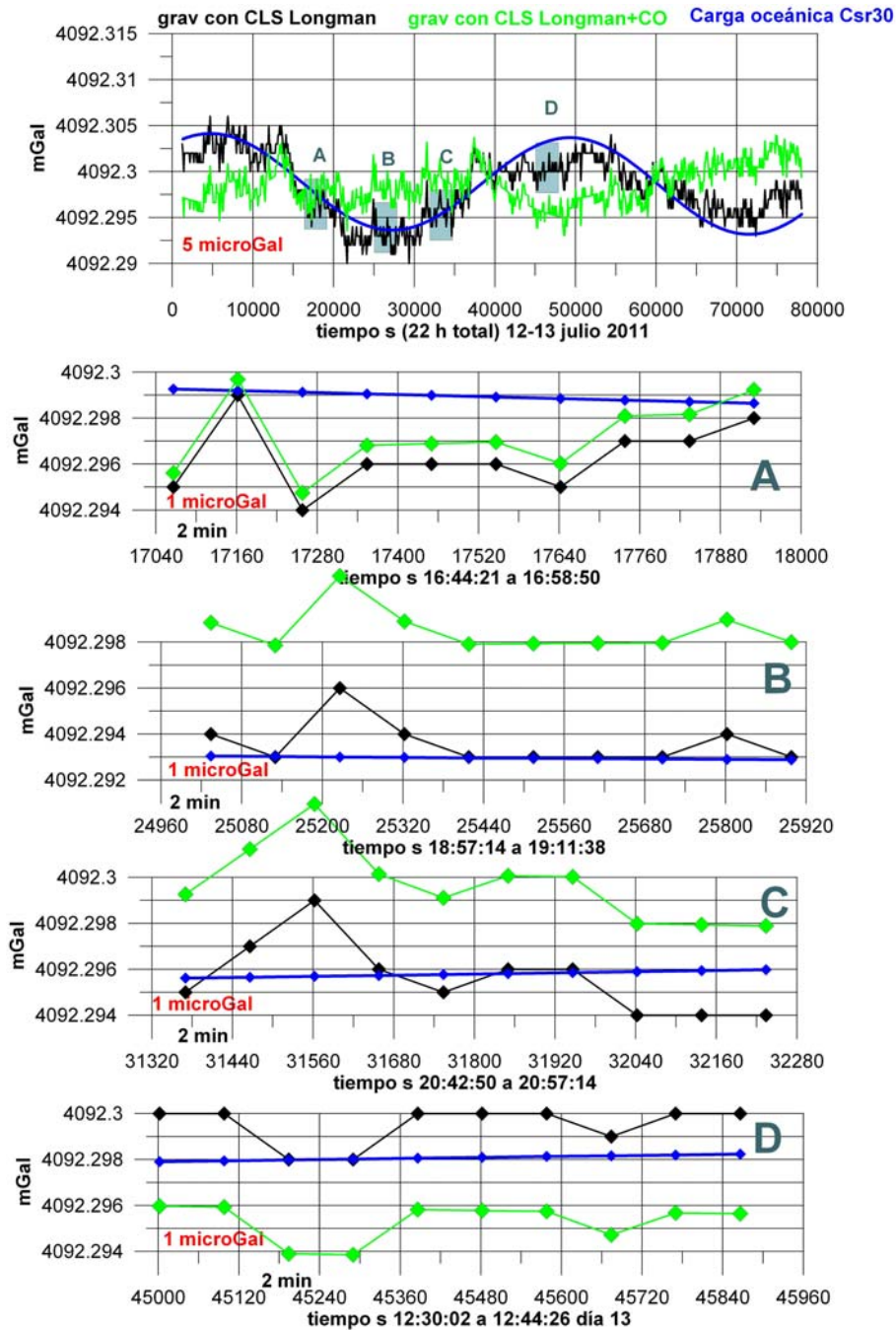
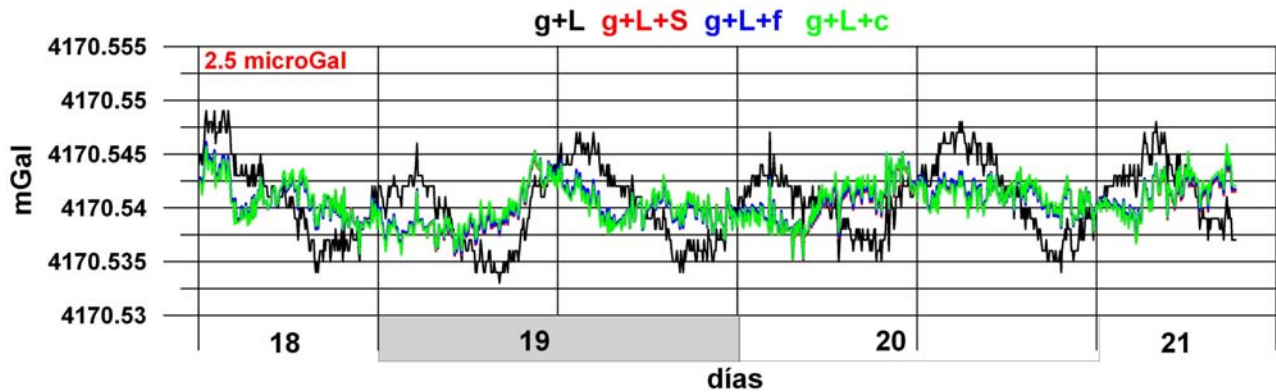


Fig. V-23 Variación de lecturas estáticas corregidas de CO para periodos de unos 15 minutos. Día 13 julio 2011, ciclos de 90 s. La superposición de la CO a las lecturas es indicativa de la tendencia.

Se concluye que las lecturas del gravímetro, una vez razonablemente estabilizado, no deben de presentar oscilaciones entorno a un valor medio de más de  $\pm 1 \mu\text{Gal}$  (con algún ciclo que llegue a  $\pm 2 \mu\text{Gal}$ ), debiendo rechazar las lecturas que se alejen de estas desviaciones. La corrección de carga oceánica resulta necesaria, no para mejorar sustancialmente las desviaciones de las lecturas de los sucesivos ciclos, sino para hacer mejor comparables las lecturas efectuadas en diferentes momentos del día, como son las lecturas en base. A pesar de estas correcciones, subsisten desviaciones-oscilaciones superiores a los  $4 \mu\text{Gal}$ , y que son debidas a otros fenómenos aparentemente externos al funcionamiento del gravímetro, como ha sido repetidamente comentado anteriormente.

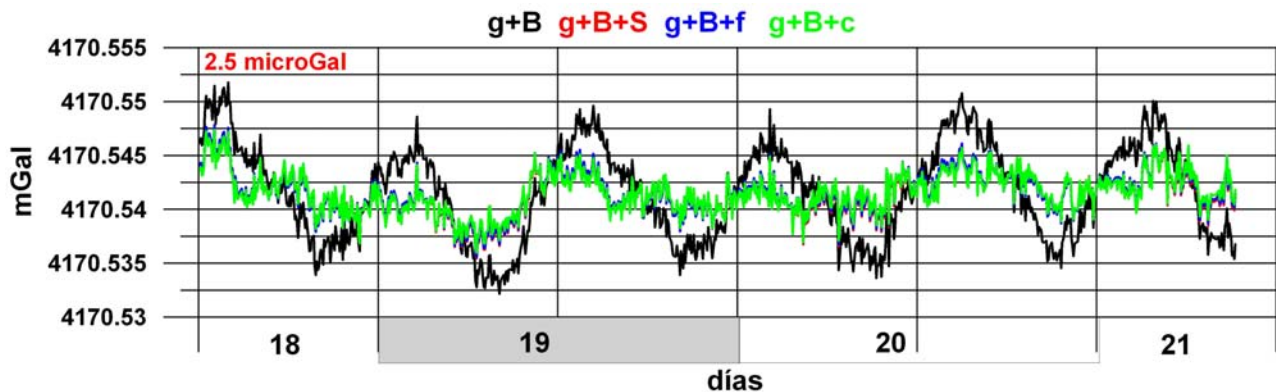
## V-7 RESUMEN DE MODELOS EMPLEADOS EN LAS CORRECCIONES

En las siguientes figuras se representan los valores de gravedad corregida por LS utilizando los modelos de Longman (L) (Figura V-24), Berger (B) (Figura V-25) y ETGTAB (ET) (Figura V-26), junto con el resultado de aplicar además la corrección de carga oceánica según los modelos de Schwiderski (S), Fes2004 (f) y Csr30 (c), para un registro efectuado del 18 al 21 de mayo de 2012 (anteriormente presentado en la Figura V-10).



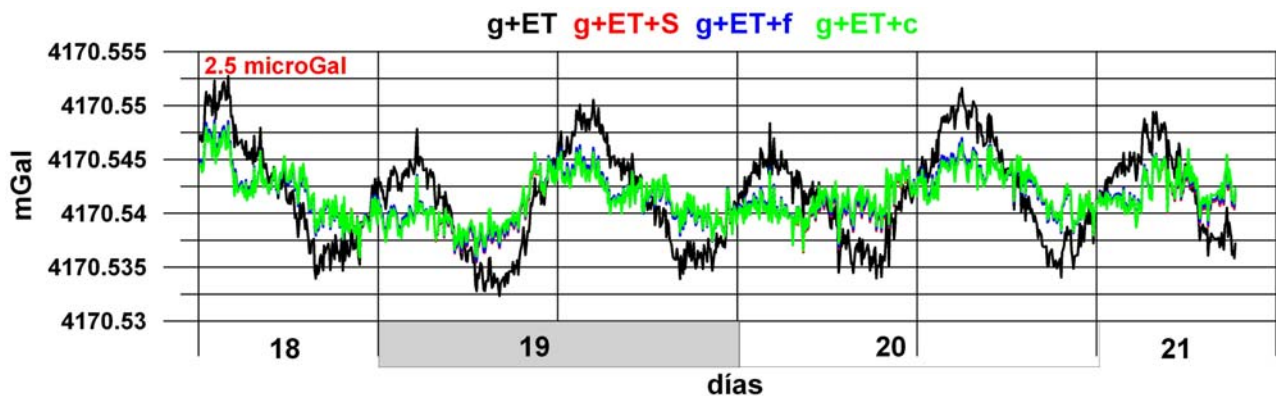
Tres Cantos, mayo 2012 día 18 12:01 h a día 21 9:15 h cada 251 s

Fig. V-24 Lecturas estáticas corregidas de LS por Longman L y CO Schwiderski S, FES f y Csr c.



Tres Cantos, mayo 2012 día 18 12:01 h a día 21 9:15 h cada 251 s

Fig. V-25 Lecturas estáticas corregidas de LS por Berger B y CO Schwiderski S, FES f y Csr c.

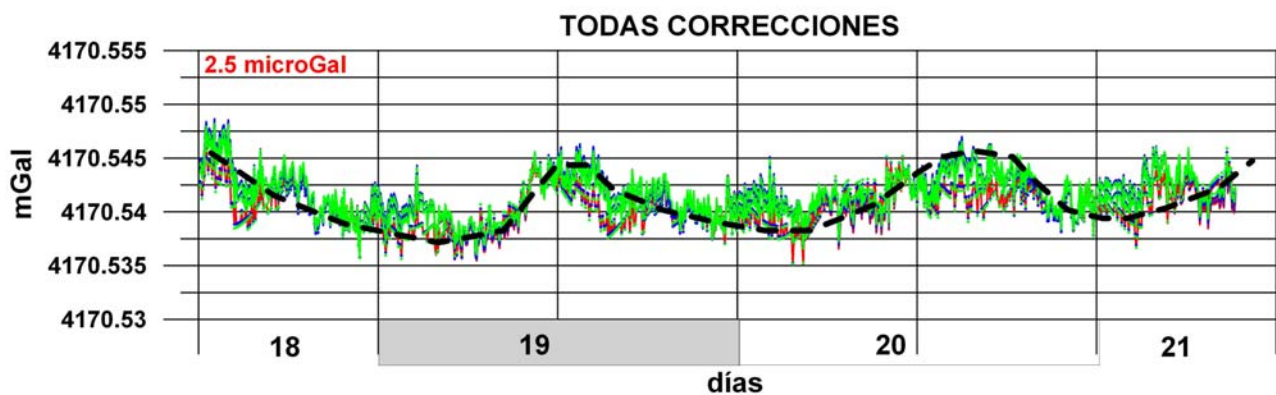


Tres Cantos, mayo 2012 día 18 12:01 h a día 21 9:15 h cada 251 s

Fig. V-26 Lecturas estáticas corregidas de LS por ETGTAB ET y CO Schwiderski S, FES f y Csr c.

Como ya se ha comentado anteriormente, ningún modelo es capaz de eliminar un residuo de gravedad, oscilando para todos ellos la gravedad leída entorno de un valor medio con amplitudes del orden de  $\pm 5 \mu\text{Gal}$  y periodo aparente (en este caso) del orden de 24 h. No es posible por lo tanto seleccionar el método más adecuado para efectuar la CLS y de CCO usando el criterio de mínima oscilación de los valores leídos; es decir, al margen de las oscilaciones debidas al funcionamiento del gravímetro, es posible que ningún método reproduzca fielmente los fenómenos reales, que si que son recogidos por el gravímetro.

En la Figura V-27 se muestran superpuestos el conjunto de los resultados aplicando todos los modelos, habiéndose trazado una línea indicando la aparente periodicidad en las oscilaciones residuales, que dada la variabilidad de las correcciones según el día y época del año no tiene porqué ser siempre del estilo observado para este ejemplo.



Tres Cantos, mayo 2012 día 18 12:01 h a día 21 9:15 h cada 251 s

Fig. V-27 Lecturas estáticas corregidas de LS y CO con todos los métodos. Se ha trazado una línea que pudiera indicar cierta periodicidad en las oscilaciones residuales de gravedad.

## V-8 CORRELACIÓN ENTRE LOS EFECTOS RESIDUALES Y LAS VARIACIONES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA

Una vez corregidas de efecto de marea y de carga oceánica, las lecturas del gravímetro, al menos para el periodo 18-21 de mayo 2012 (Figuras V-10 y V-27) siguen presentando una oscilación a lo largo del tiempo con una aparente periodicidad (con máximos sobre las 10 h y mínimos entorno a las 4 h y amplitud pico-pico del orden de 8-10  $\mu\text{Gal}$ ). Aunque el valor absoluto de la gravedad corregida depende de los modelos utilizados (es unos 2  $\mu\text{Gal}$  menor con el de Longman), la cadencia de esta variación es la misma para todos los modelos, por lo que podría deberse a fenómenos externos no compensados.

En este registro se aprecia una cierta correlación entre la variación de temperatura del sensor (a través del parámetro TEMP) y la desnivelación del instrumento (a través de los parámetros TILTX y TILTY) (Figura V-28), lo que puede considerarse normal, ya que las variaciones de temperatura pueden influir en cambios de nivelación, que en cualquier caso están dentro de los límites admisibles (40 segundos). Sin embargo, lo que no parece normal es que se aprecie también correlación entre las variaciones de estos parámetros y las oscilaciones de lectura del gravímetro corregidas de LS y CO, ya que se supone que la corrección de temperatura y nivelación tienen por objeto mantener estable la lectura del gravímetro cuando no hay razones externas para que cambie.

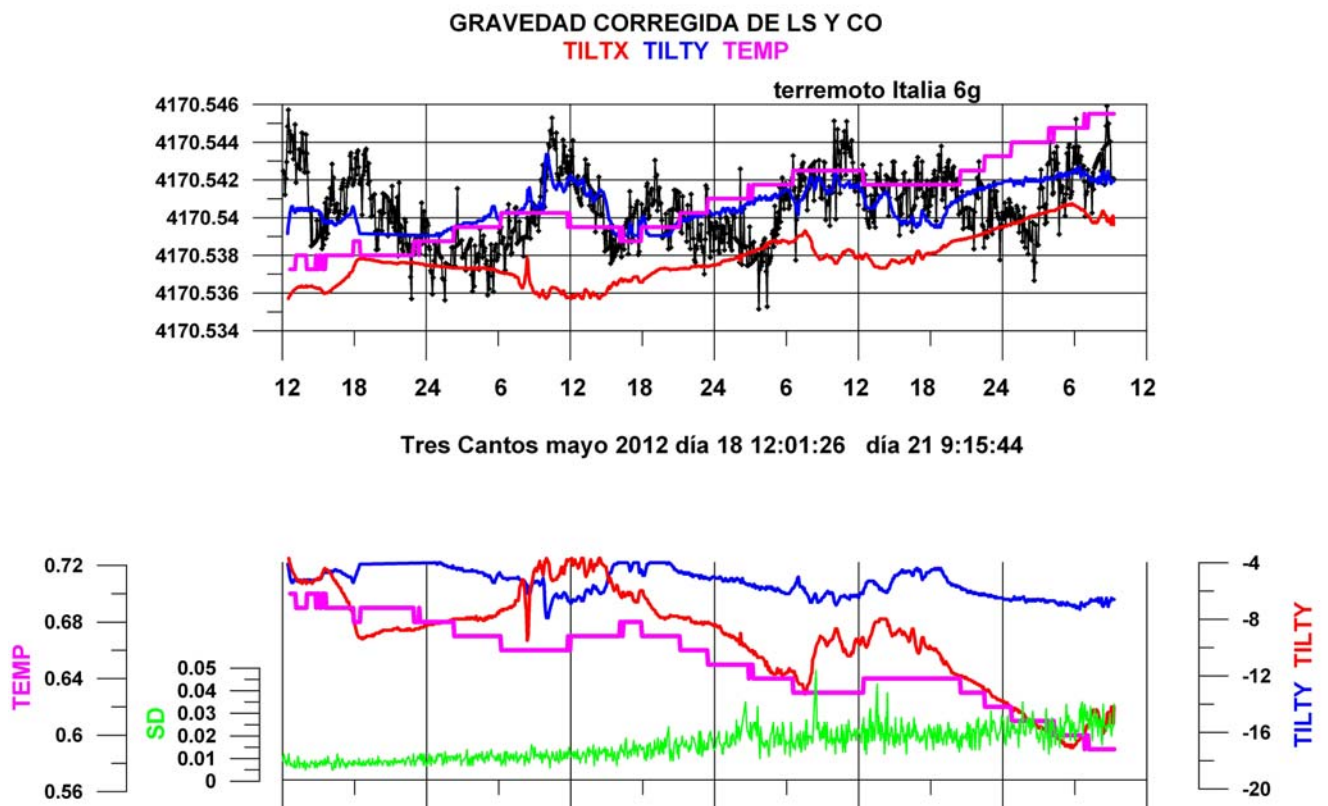


Fig. V-28 Correlación entre la variación de gravedad leída por el gravímetro CG5, con CCO y CLS, con la oscilación de la temperatura del sensor TEMP y desnivelación TILT. Periodo 18-21 mayo de 2012.

En este mismo registro se observa un aumento de la desviación estándar SD, aunque sólo supera 0.03 mGal en coincidencia con la ocurrencia de un terremoto en Italia de grado 6. Al ser el sensor un sistema



oscilatorio las ondas mecánicas ejercen sobre él una indiscutible influencia, al igual que en los geófonos sísmicos, siendo esta una de las causas más probables de las oscilaciones observadas en las lecturas del gravímetro y de su no observación en todos los casos. En este sentido, las oscilaciones observadas podrían ser debidas al diferente nivel de ruido con las horas del día existente en la posición del gravímetro (hall de entrada al edificio del IGME en Tres Cantos).

La misma correlación con los parámetros TEMP y TILT puede apreciarse en el registro del periodo 12-13 julio 2011 (Figura V-29), aunque la longitud del intervalo considerado (36 h) no permite apreciar el carácter casi periódico de las variaciones de lectura del gravímetro, o este no existe. La correlación entre la variación de los niveles y las oscilaciones del gravímetro sólo es aparente para el periodo desde las 18 a las 24 h, por lo que cabe considerar la posibilidad de que se trate de coincidencias sin conexión real entre las diversas variables observadas.

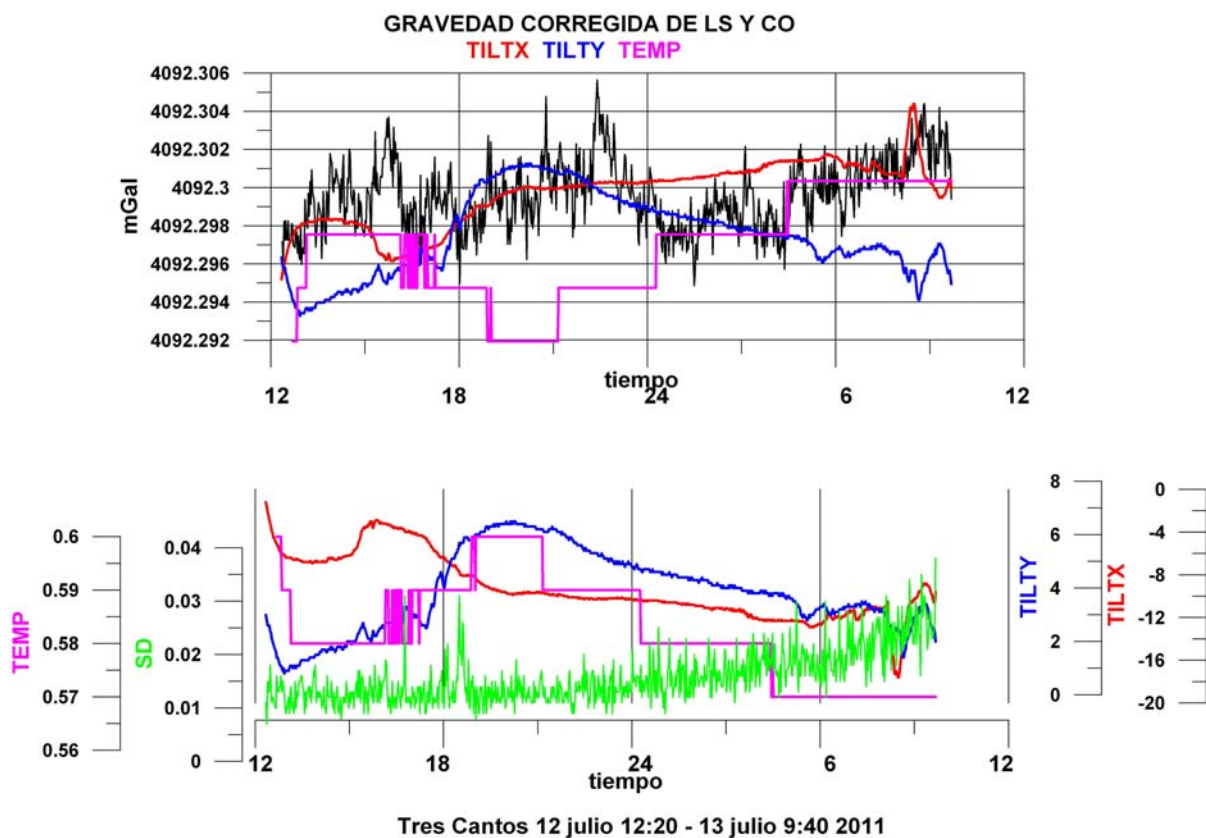


Fig. V-29 Correlación entre la variación de gravedad leída por el gravímetro CG5 con la oscilación de la temperatura del sensor y correcciones de nivelación. Periodo 12-13 julio de 2011.

Otra posibilidad que pudiera explicar el aparente ritmo periódico de oscilación de los valores de gravedad corregidos de LS y CO de la Figura V-28 es que dicha oscilación de las lecturas esté relacionada con los cambios de presión atmosférica. Sin embargo, las oscilaciones debidas a las mareas diarias de presión (del orden de 2 hPa) no superan los 0.5  $\mu$ Gal, por lo que harían falta cambios de presión mucho más grandes. Según datos de la AEMET para la variación de presión en Madrid durante mayo de 2012 (Figura V-30), durante los días 18 a 21 (periodo del registro de la Figura V-28) hubo un aumento de la presión atmosférica de unos 12 hPa, a lo que está asociado un descenso de 4  $\mu$ Gal.

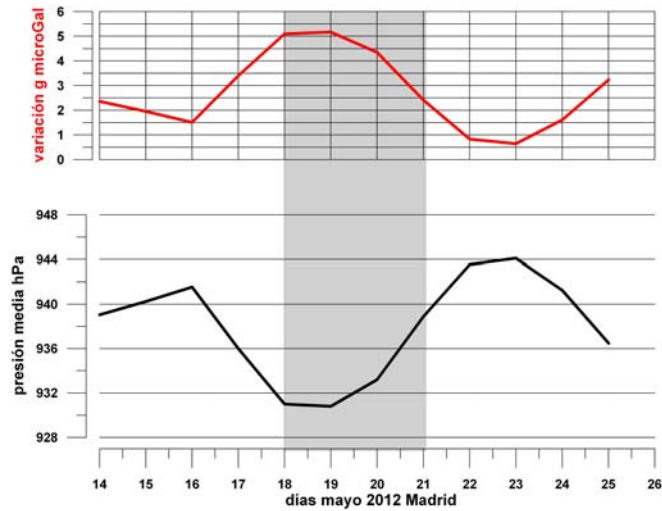
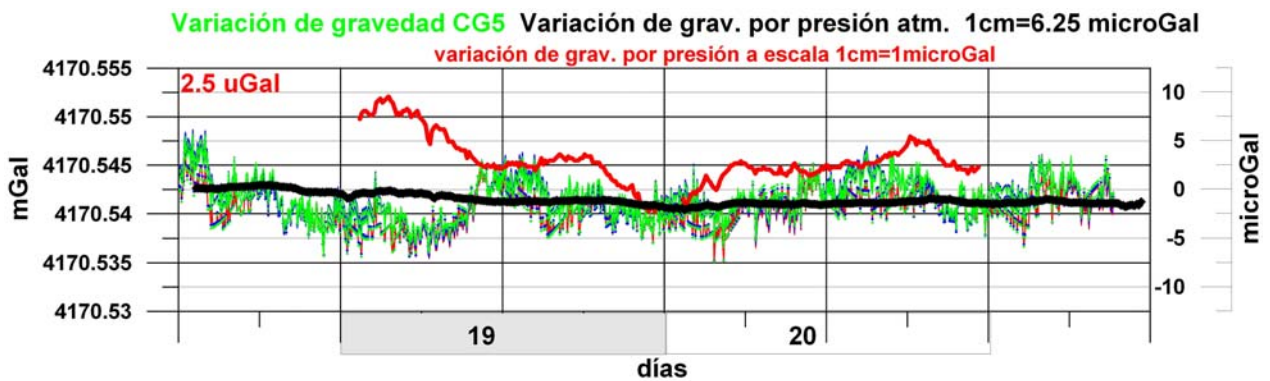


Fig. V-30 Variación de presión en Tres Cantos durante mayo de 2012.

Esta disminución puede estar incluida en la variación observada en el registro de gravedad (Figura V-31), pero su compensación no conseguiría eliminar las oscilaciones observadas. Por otra parte, en la misma Figura V-31 se ha superpuesto para los días 19 y 20 la variación de gravedad por presión a mayor escala, que sigue la morfología de una típica variación diaria de presión; se observa que aunque pudiera aceptarse cierta correlación, ésta es en sentido inverso, es decir, se precisaría que la presión tuviera una variación opuesta a la que realmente tiene, al margen de que su amplitud no puede justificar las oscilaciones de gravedad.



Tres Cantos, mayo 2012 día 18 12:01 a día 21 9:15 cada 251 s

Fig. V-31 Variación de la gravedad debida a los cambios de presión atmosférica superpuesta a la variación de gravedad registrada del 18 al 21 de mayo de 2012.

*En consecuencia, nuestra opinión es que las oscilaciones son debidas a la influencia de las ondas mecánicas ambientales y de sismicidad sobre el periodo del sistema oscilatorio del sensor del gravímetro. A este efecto puede unirse otro de más baja frecuencia, debido a la diferencia que puede existir entre las correcciones de LS y CO y las variaciones reales de estos efectos.*

[Página dejada intencionadamente en blanco]

## **ANEXO DIGITAL**

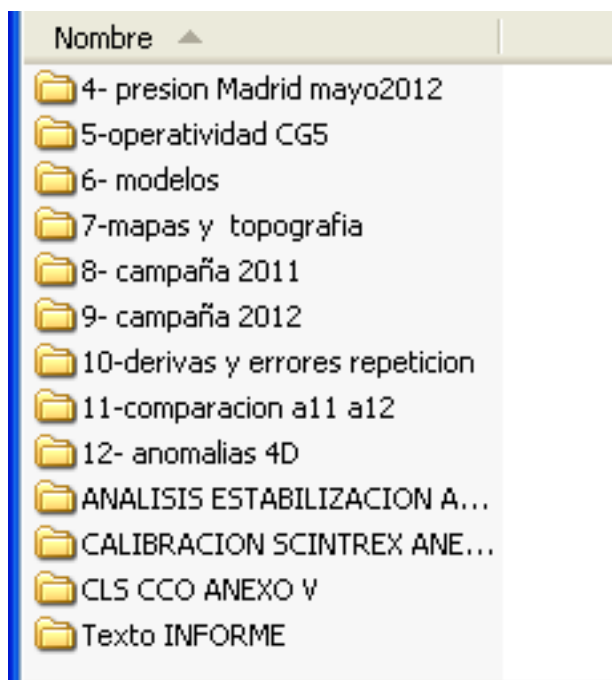
- **Presentación del contenido**
  - **CD**



[Página dejada intencionadamente en blanco]

Contiene todos los ficheros de datos, hojas de cálculo, gráficos y texto de este Informe. Los datos están en formato txt. o en formato xls (Excel 2003). Los gráficos se han efectuado en GRAPHER 7 y SURFER 9 (Golden Software).

Está organizado en las siguientes carpetas, cuyo número inicial hace referencia al capítulo del Informe al que pertenecen fundamentalmente los archivos contenidos:

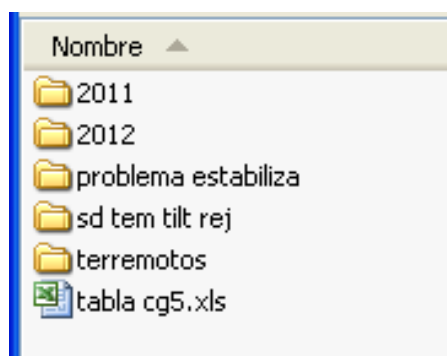


#### **4-PRESIÓN MADRID MAYO 2012**

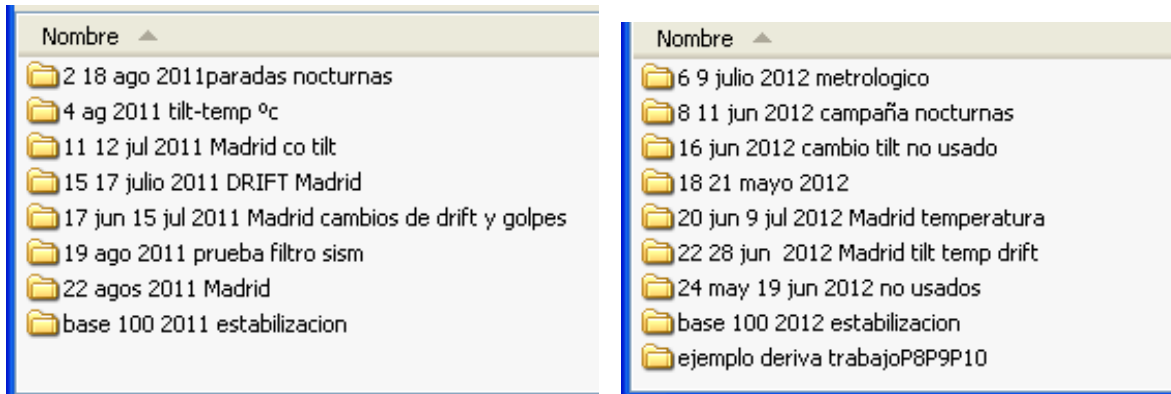
Datos de AEMET y gráficos del capítulo 4 relativos a la variación de presión.

#### **5-OPERATIVIDAD CG5**

Contiene los gráficos y ficheros correspondientes a los diversos aspectos contemplados en el capítulo 5 y algún gráfico del capítulo 9. Están ordenados por carpetas referentes a cada tema, o referente a las fechas de los datos utilizados.

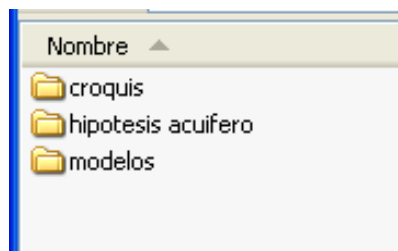


En las carpetas 2011 y 2012 contiene los datos utilizados en el diseño de las Figuras del capítulo 5 identificados por fechas y/o por temas:



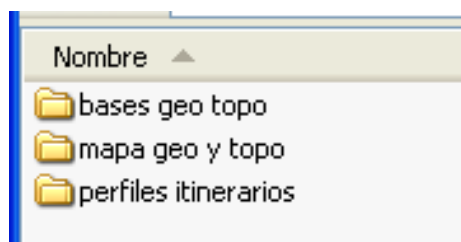
## 6-MODELOS

Contiene los ficheros y gráficos correspondientes a las hipótesis formuladas sobre la posible acumulación de agua, así como los modelos y anomalías gravimétricas teóricas con los que se han diseñado las Figuras del capítulo 6 y parte del 2.

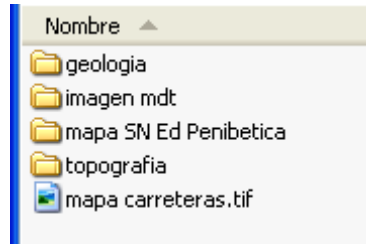


## 7-MAPAS Y TOPOGRAFÍA

Consta de tres carpetas:

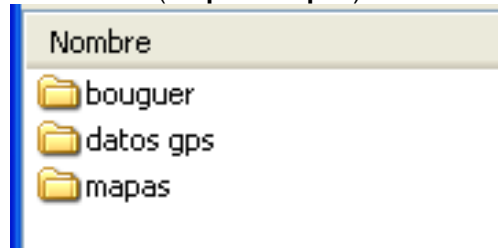


- La carpeta **bases geo y topo** tiene los ficheros de datos originales de la geología digital continua, modelos de altimetría del terreno en mallas de 25x25 y de 100x100 m, hojas topográficas 1:50.000 y 1:25.000 y mapa del Parque Natural Sierra de las Nieves:



- La carpeta **mapa geo y topo** tiene los ficheros originales de levantamiento topográfico GPS (carpeta datos GPS), el mapa base **geo y topoSN.srf** utilizado para todas las representaciones cartográficas de todos los capítulos del Informe y fichero **xyz GPS Javat.xls** con las coordenadas UTM 30 ED50 de todas las estaciones medidas (hoja xyz) (carpeta mapas), y los cálculos del mapa de Anomalías de Bouguer (carpeta Bouguer).

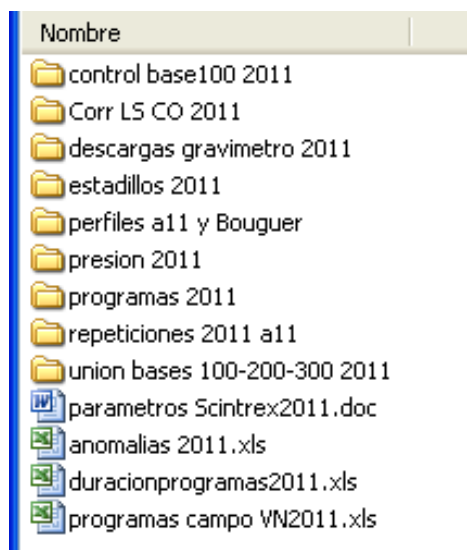
(carpeta mapas)



- La carpeta **perfiles itinerarios** contiene el fichero **Estxyz geo.xls** con las coordenadas de las estaciones, su distribución por itinerarios, cálculos de anomalía de Bouguer y anomalía a11, así como los gráficos de altimetría de los itinerarios.

## 8- CAMPAÑA 2011

Ficheros y gráficos de la campaña de 2011, organizados por:



Fichero **programas campo VN2011.xls** : cuadro de control de repetición de estaciones y calidad



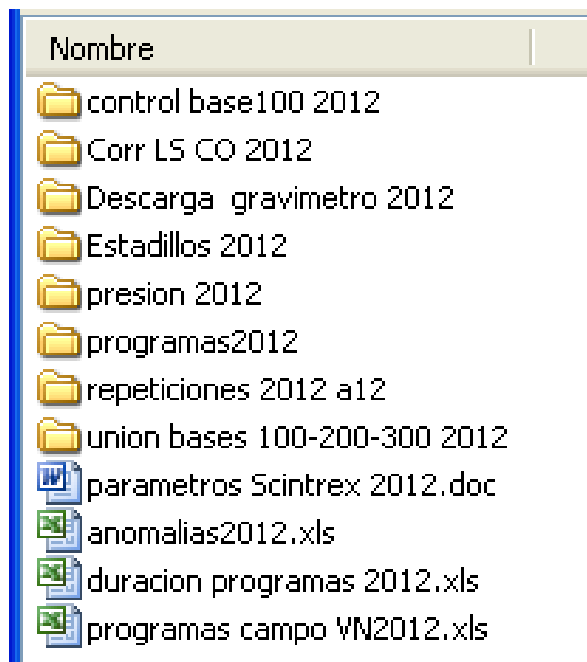
Fichero **anomalias 2011.xls** : cuadros de todas anomalías a11 medidas en cada estación, clasificadas por estaciones y por programas.

El cometido de las carpetas es el siguiente:

- **control base100 2011** contiene el fichero **B100 2011co.xls** con todas las lecturas en base, así como los gráficos del control de derivas.
- **corr LS CO 2011** contiene los ficheros originales y derivados de cálculo de CLS y CCO por el programa Quick Tide para las tres zonas en que se ha dividido el área a estos efectos.
- **descargas gravimetro 2011** contiene los ficheros txt originales de datos del gravímetro así como los preparados **campaña2011 completa limpio.xls** y **campaña2011 programas.xls**
- **estadillos 2011** contiene el fichero **Estadillos\_sierra de las nieves\_Agosto2011.pdf**, con las anotaciones de campo de las lecturas del gravímetro.
- **presion 2011** datos facilitados por la AEMET y gráficos correspondientes
- **programas 2011**: contiene los ficheros por programas tipo **dia2 P1co.xls**, con los que se han generado los gráficos tipo **bases dia2 P1co.grf estaciones P1co.grf**, base del análisis de estabilización de lecturas para selección de ciclos, así como gráficos especiales destinados a la explicación del método en el capítulo 8. El total de los gráficos se encuentra en el Anexo III. Cada fichero **diaY PXco.xls** contiene las hojas:
  - **derivaPx**: con los datos de lecturas en base y cálculo de la deriva del programa
  - **Px**: con los cálculos de corrección de deriva y de anomalía
  - **anomalíaPx**: resumen de las anomalías para las lecturas seleccionadas en cada estación
  - **interpolación**: cálculos de interpolación de las correcciones de marea y carga oceánica al tiempo exacto de cada lectura.
- **repeticiones 2011 a11** contiene los ficheros **anomalias todas 2011co.xls** (reunión de todas las hojas Px de los ficheros de programas) y **selec anomalias2011co.xls** (reunión de todas las hojas anomalíaPx) con los que se ha diseñado los gráficos utilizados para selección de la anomalía a11 de cada estación.
- **perfiles a11 y Bouguer** con el fichero **Estxyz geo.xls** (coordenadas, valor de a11 y de anomalía de Bouguer ordenados por estaciones y por perfiles), y los gráficos correspondientes.
- **union bases 100-200-300 2011** con los ficheros de campo y cálculo de la unión de bases

## 9- CAMPAÑA 2012

Equivalente a la correspondiente carpeta de 2011:



## 10- ANÁLISIS DE DERIVAS

Cálculos y gráficos del capítulo 10.

## 11- COMPARACIÓN a11 a12

Cálculos y gráficos del capítulo 11.

## 12- ANOMALÍAS 4D

Cálculos y gráficos del capítulo 12.

## CALIBRACIÓN SCINTREX ANEXO I

Ficheros de campo y de cálculo de la calibración efectuada en 2011. Las Figuras generadas se encuentran en el Anexo I y en el capítulo 5.

## ANÁLISIS ESTABILIZACIÓN ANEXO IV

Ficheros y gráficos relativos al análisis de estabilización de las lecturas en la base y estaciones durante la campañas de 2011 y 2012, contenidas en el Anexo IV

## CLS CCO ANEXO V

Ficheros y gráficos del análisis especial de las correcciones Luni-Solar y de carga oceánica del Anexo V. y capítulo 4. Los datos están ordenados en carpetas por fechas, lo que permite identificar fácilmente el correspondiente a cada gráfico.

