



25 ANIVERSARIO  
1989 - 2014  
ESTUDIOS DE INGENIERÍA  
EN TOPOGRAFÍA Y GEOMÁTICA  
DE LA UNIVERSIDAD DE JAÉN



Instituto  
Geográfico  
Nacional

# REd de Gravimetría Absoluta REGA

Eduardo Núñez Maderal  
enmaderal@fomento.es



Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## ¡Hablando hoy, aquí, de gravimetría absoluta!

- estudié en esta universidad entre 1998 y 2000
- entré a trabajar en el Instituto Geográfico Nacional(IGN), en 2001, en gravimetría absoluta
- el IGN es centro de referencia en gravimetría en España

REGA  
E. Núñez





# Gravedad y gravimetría

3

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez



## Gravedad (gravitación)

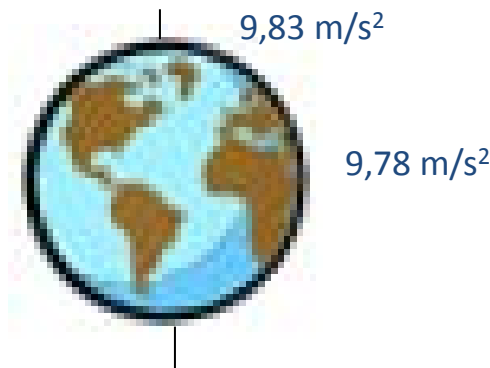
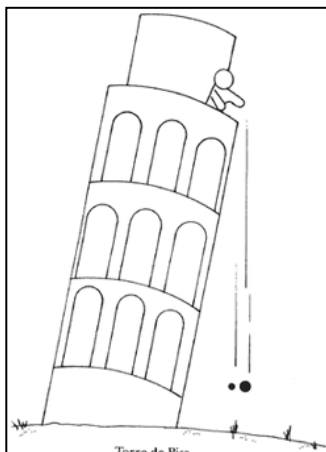
Fuerza de atracción de los cuerpos en función de su masa



$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

## Gravimetría

Medición del campo de la gravedad

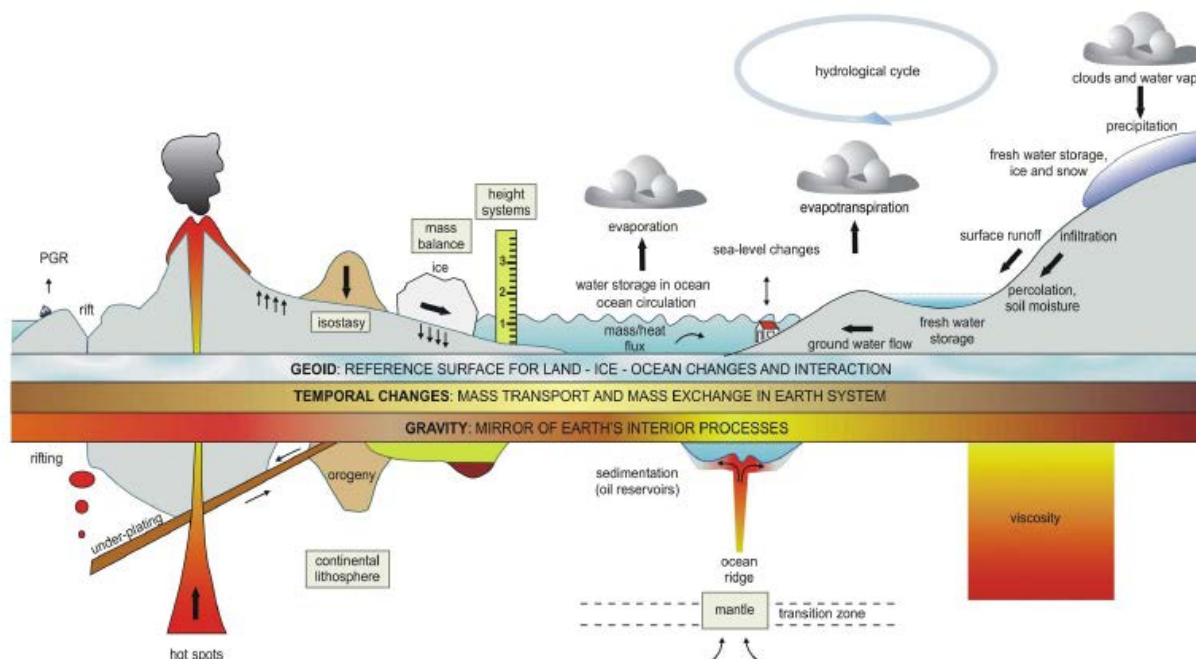




# Gravedad y gravimetría

4

➤ estudiar el campo de gravedad



Para conocer lo que pasa en el interior de la Tierra

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez

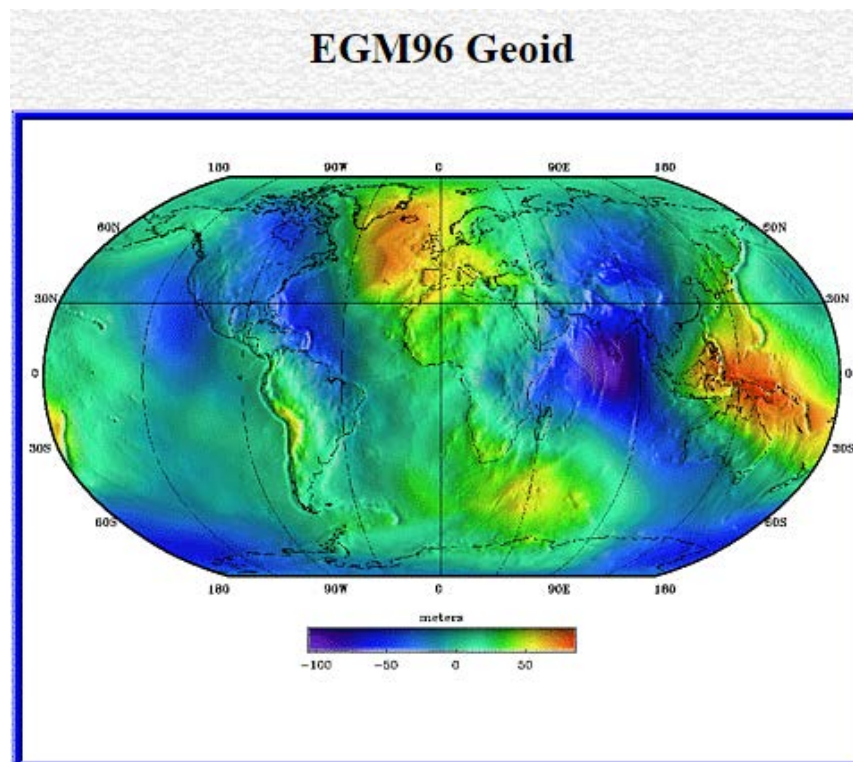




# Gravedad y gravimetría

5

- estudiar el campo de gravedad



**Para determinar la forma de la Tierra -> el Geoide**

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez







# Gravedad y gravimetría

6

Jaén  
16.03.15

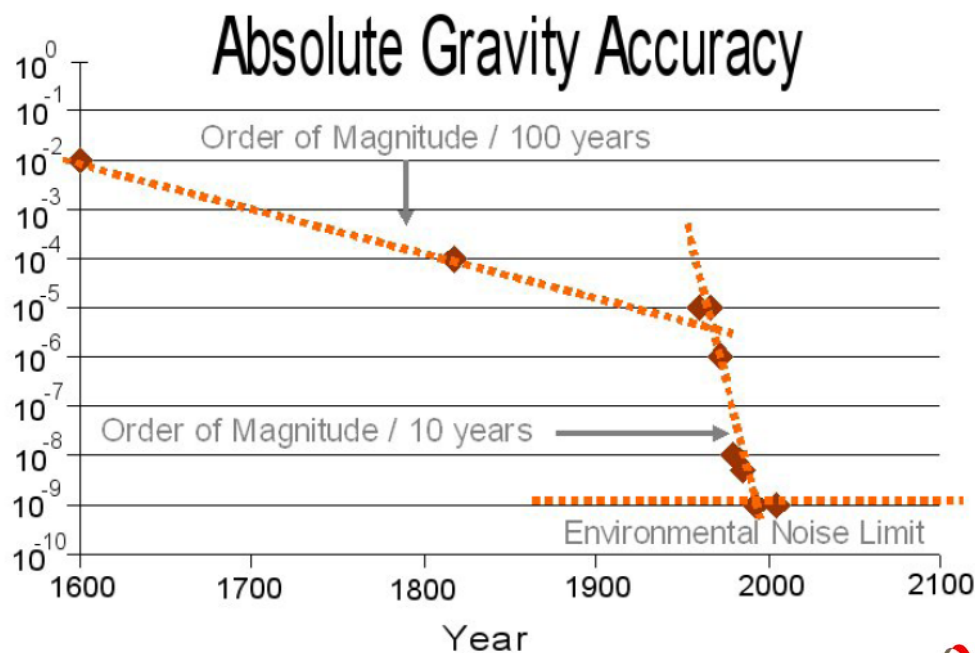
Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez

*Desde los días de Galileo la determinación del campo de la gravedad por medidas gravimétricas ha demostrado constantes progresos en la cantidad de datos y en la precisión de los mismos (extraído de Torge,W., Gravimetry)*



MICROg  
LACOSTE





# Gravedad y gravimetría

7

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## El microGal ( $\mu\text{Gal}$ )

<u>S.I.</u>	<u>c.g.s.</u>	
$\frac{m}{s^2}$	<b>Gal</b>	$\longrightarrow 1\mu\text{Gal} = 10\text{nm/s}^2$

$\frac{m}{s^2}$

**Gal**

**mGal**

**$\mu\text{Gal}$**

**nGal**

9,8000000000





Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Objetivos para la gravimetría en el IGN

- Primer objetivo: la REd de Gravimetría Absoluta (REGA), red de orden cero (FG5), uno (A10)
- Superposición de los valores a algunas de las estaciones de la Red de Nivelación de Alta precisión.
- Aplicaciones en volcanología.
- Medidas en mareógrafos para estudios del nivel del mar.
- Calibración gravímetro superconductor de Yebes.
- Restablecimiento de línea de calibración a lo largo de toda la Península.
- Entrar en AGrav: Absolute Gravity Database - Meta-Data (<http://agrav.bkg.bund.de/agrav-meta/>)
- Intercomparaciones de gravímetros a nivel mundial y europeo ICAG y ECAG.
- Medidas de gravimetría absoluta de referencia (mediciones en laboratorios de metrología, relacionados con el patrón de masa, “patrón” de gravedad).

REGA  
E. Núñez







# Gravimetría en el IGN

9

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

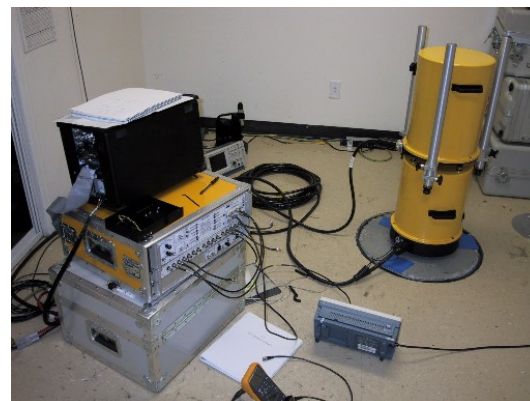
El IGN

## Equipos de medición de gravedad en el IGN

- **absolutos**: medida directa de aceleración  $g$  (distancia - tiempo)
- Obtenemos directamente los 9,8...m/s<sup>2</sup>



FG5



A10



Micro-g LaCoste Absolute Gravimeters

Absolute Gravimeter Comparison Chart

Meter	Accuracy	Precision	Repeatability	Temp Range	DC	AC	Outdoor Operation
	$\mu\text{Gal}$	$\mu\text{Gal}/\sqrt{(\text{Hz})}$	$\mu\text{Gal}$	$^{\circ}\text{C}$			
FG-L	10	100	10	15 to 30		x	
A-10	10	100	10	-18 to +38	x	x	x
FG5-X	2	15	1	15 to 30		x	

REGA  
E. Núñez





Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

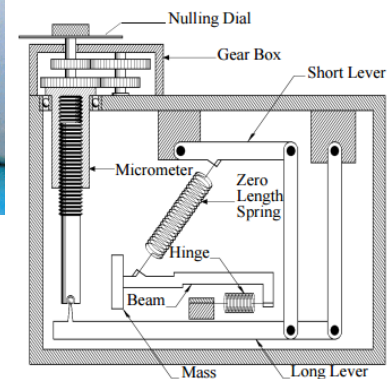
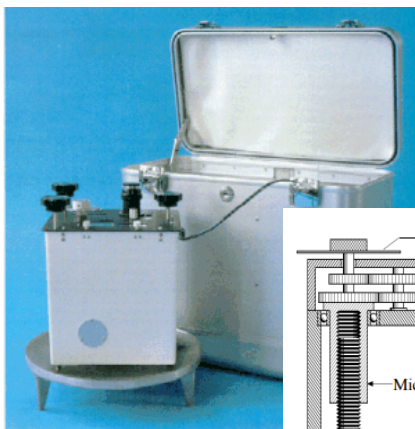
REGA  
E. Núñez



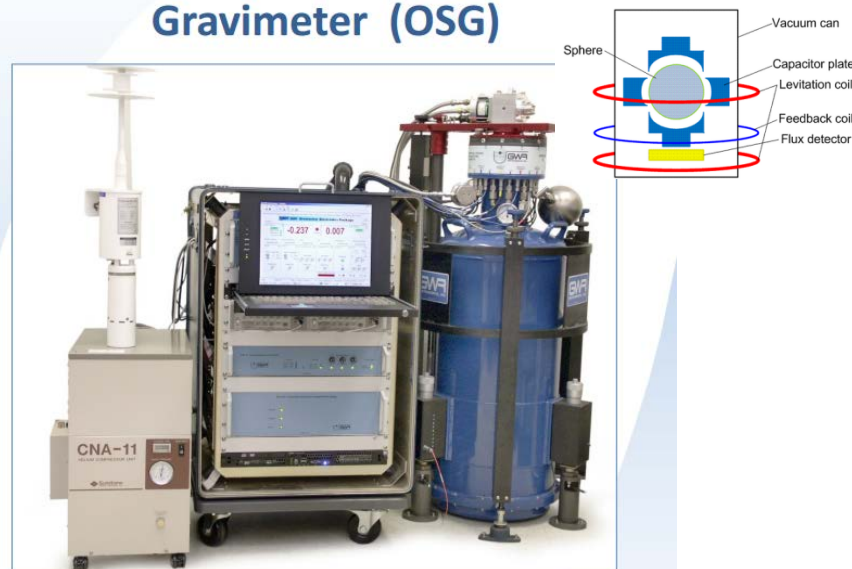
## Equipos de medición de gravedad en el IGN

- **relativos**: medida de variaciones de  $g$  (variación de posición de una masa)
- Obtenemos variaciones de gravedad

Lacoste&Romberg  
Precisión:  $1\mu\text{Gal}$



## Observatory Superconducting Gravimeter (OSG)



The GWR Observatory SG is the world's most sensitive and stable gravity meter

- Lowest noise gravimeter with a sensitivity of  $1 \text{ nanoGal}$  ( $10^{-3} \mu\text{Gal}$ )
- Lowest noise seismometer below  $1 \text{ mHz}$ :  $0.1 \mu\text{Gal}/(\text{Hz})^{1/2}$
- Lowest drift: typically  $2 \mu\text{Gal}/\text{year}$  and linear over decades
- Precision:  $0.01$  to  $0.04 \mu\text{Gal}$  for a one-minute averaging window
- Calibration: Stable to one part in  $10^4$  for decades!
- Insensitive to local environment





# Equipos de gravedad absoluta

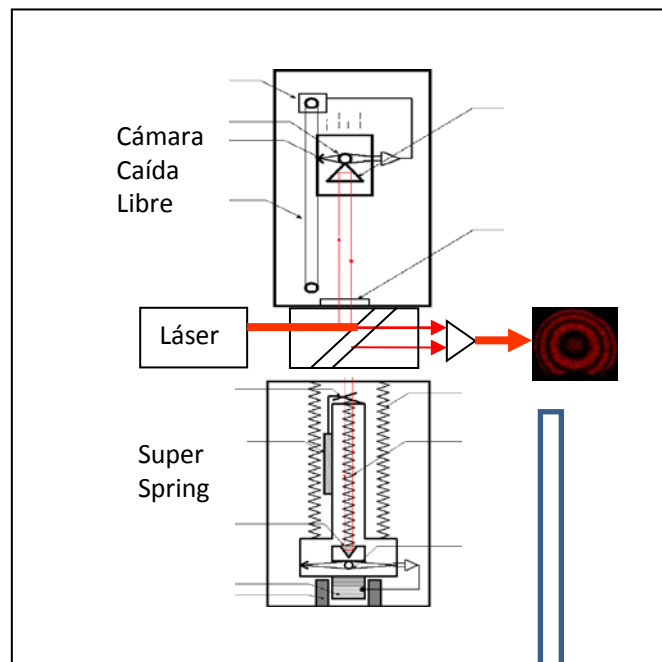
11

## ¿Cómo funciona un equipo de gravedad absoluta?

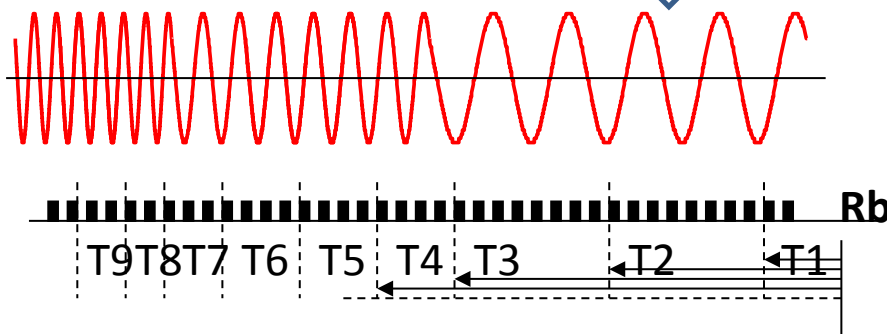
### FG5 Gravimeter



Free-fall gravimeter



Un reloj registra cada cuanto sucenden las orlas



Distancia:  $\lambda/2$  nm  
Tiempo( $T_n$ ): s





# Equipos de gravedad absoluta

12

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez

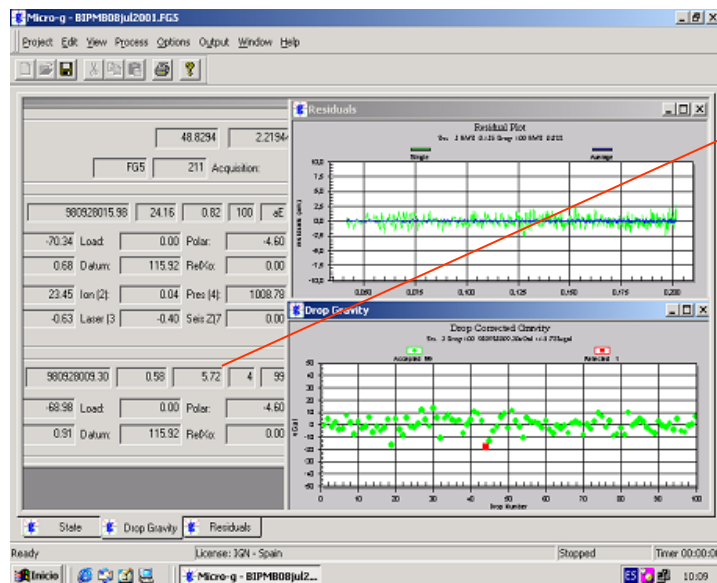
## ¿Cómo se determina el valor de la gravedad?

### FG5 Gravimeter



- > Series de caídas (medida estadística: valor & +/- incertidumbre)
- > Correcciones a la gravedad

Free-fall gravimeter



$$\sigma_{SET} = 5.72 \mu\text{Gal}$$







## ¿Cómo se determina el valor de la gravedad?

-> Correcciones comunes a la gravedad

Variable física	Orden magnitud
Marea terrestre (MT)	+/- 150 $\mu\text{Gal}$
Carga oceánica (CO)	+/- 3 $\mu\text{Gal}$ (Bruselas)
Movimiento polar (MP)	+/- 5 $\mu\text{Gal}$
Variaciones de presión atmosférica (ATM)	-0,3 $\mu\text{Gal}$ / hPa
Reducción a datum altimétrico (DATUM)	Incertidumbre gradiente vertical

$$g_j = a_j + \delta g_{\text{MT}} + \delta g_{\text{CO}} + \delta g_{\text{MP}} + \delta g_{\text{ATM}} + \delta g_{\text{DATUM}}$$







# Equipos de gravedad absoluta

14

## ¿Cómo se determina el valor de la gravedad?

-> Medida de gradiente asociado a la medida de gravedad absoluta



- Reducción de valores absolutos a un datum.
- Medición de gradiente de la aceleración de la gravedad con exactitud de 1  $\mu\text{gal}$ .
- Medición realizada con sistema de realimentación analógica.



Medida  
gradiente con  
A10



Base para la medida de gradiente  
Para FG5



Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez





# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

15

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Proyecto REGA

Establecer una infraestructura de referencia de gravimetría en el territorio español.

-> Orden 0: con gravímetro FG5#211 (u: +/-1  $\mu$ Gal)

-> Orden 1: con gravímetro A10#006 (u: +/-10  $\mu$ Gal)



Gravímetro FG5 para REGA Orden 0



Gravímetro A10  
para REGA  
Orden 1







Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Primeras medidas con FG5 en 2001

Observatorio Astronómico del IGN (2 gravímetros absolutos)

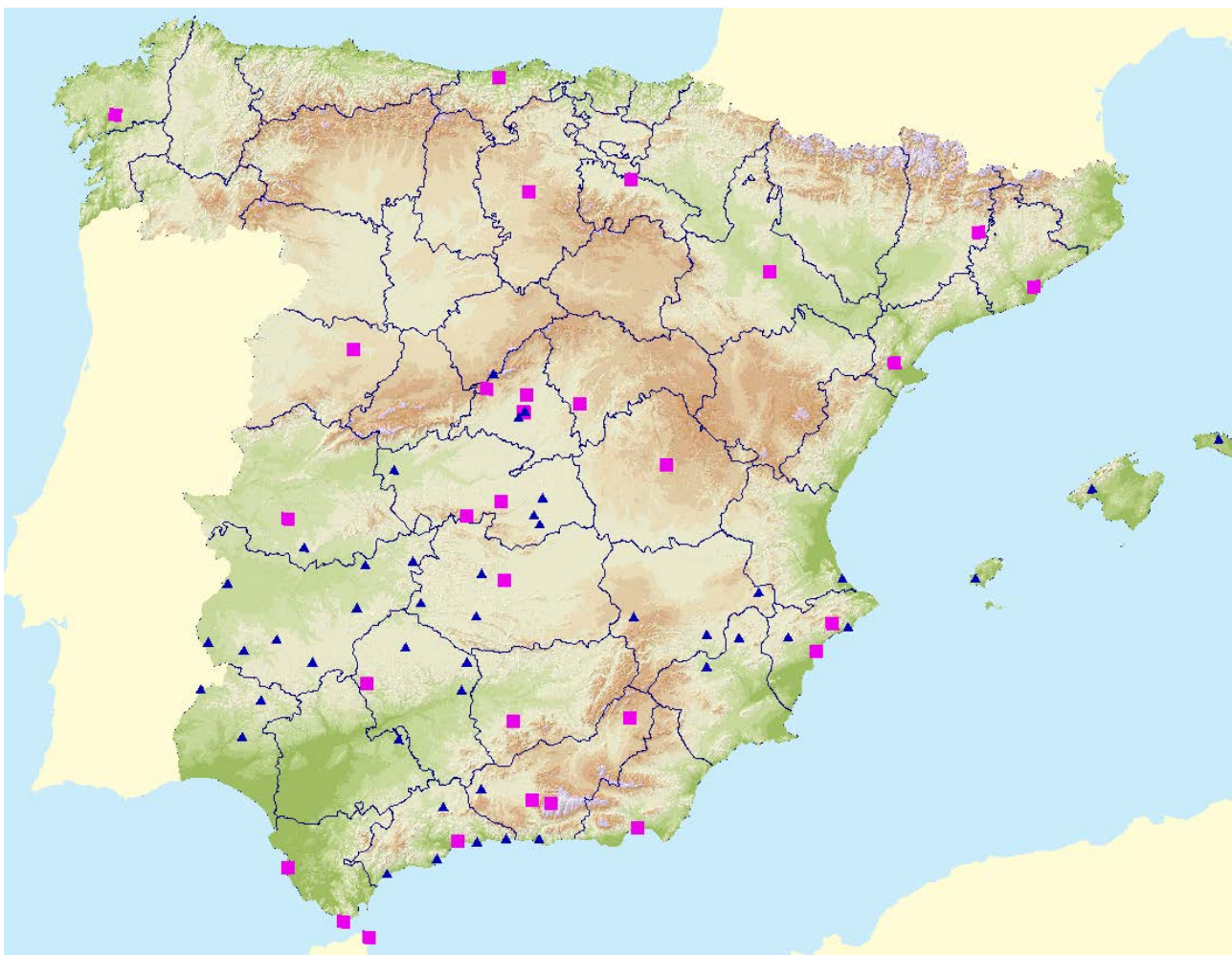




# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

17

## REGA Orden 0 y Orden1 en Península



32 REGA0

44 REGA1

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN





# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

18

Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## REGA Orden 0 y Orden1 en Canarias



1 REGA0

49 REGA1







# Red de gravimetría absoluta del IGN - REGA

19

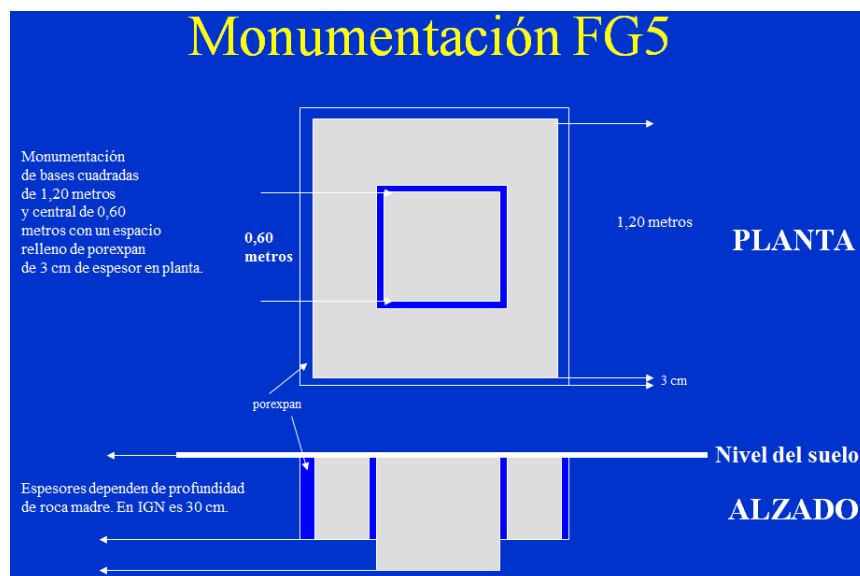
Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Monumentación (pilares de observación)



Pilares REGA Orden0 (FG5)



Laboratorio gravimetría IGN  
(Sede central)



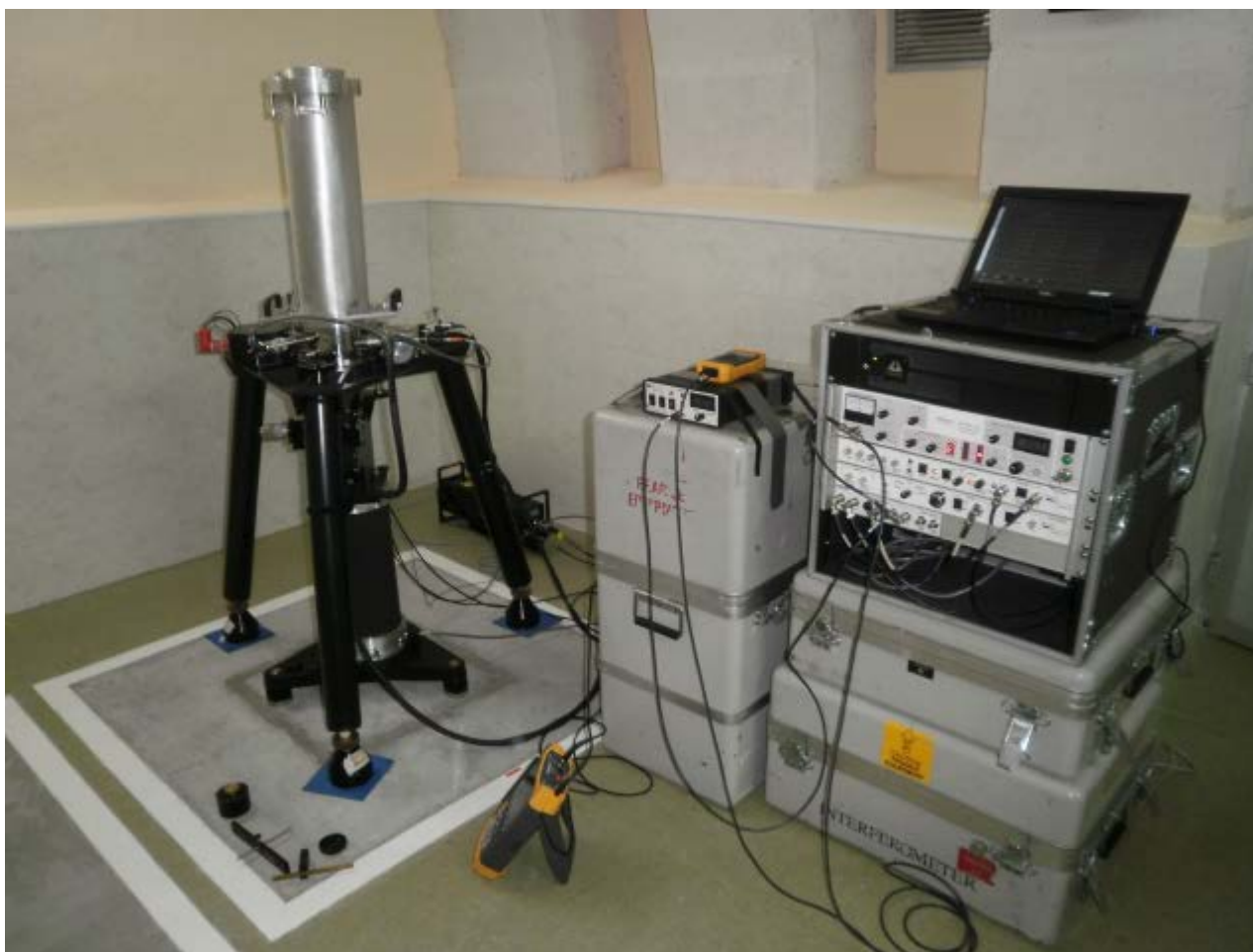
Pilares REGAOrde1( A10) : aprovechamos red  
Acelerógrafos en el Sur de España





## Medidas con FG5#211

San Pablo de los Montes (Observatorio Geofísico del IGN en Toledo)



Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN





Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Medidas con A10



Estación de Cercedilla(Madrid)



Medidas en Ibiza





Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Mantenimiento de equipos

- Comparaciones internacionales

Intercomparación en el  
BIPM-París 2001



9_4 FG5-209 B1.090 8012.28014.5 2.3	0.9	1.08	5698.9	8016.5	-1.3	-2.3	-0.5
10_1 FG5-211 A.090 5694.65701.2 6.6	0.9	1.12	5694.6	8012.2	-5.6	-6.6	-7.3
10_2 FG5-211 A2.090 5693.55706.6 13.1	0.9	1.15	5688.1	8005.7	-12.1	-13.1	-12.5
10_3 FG5-211 B.090 8012.68018.8 6.2	0.9	1.13	5695.0	8012.6	-5.2	-6.2	-7.1
11_1 FG5-213 A.090 5701.05701.2 0.2	0.9	1.09	5701.0	8018.6	0.8	-0.2	-0.9
11_3 FG5-213 B1.090 8010.28014.5 4.3	0.9	1.17	5696.9	8014.5	2.2	4.2	2.5





Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Mantenimiento de equipos

- Comparaciones internacionales

Intercomparación en  
Luxemburgo 2003



El FG5#211 obtuvo una diferencia de **-0,3  $\mu\text{Gal}$**  respecto a la media  
(Francis, O.: Results of the International Comparison of Absolute Gravimeters in  
Walferdange (Luxembourg) of November 2003)





Jaén  
16.03.15

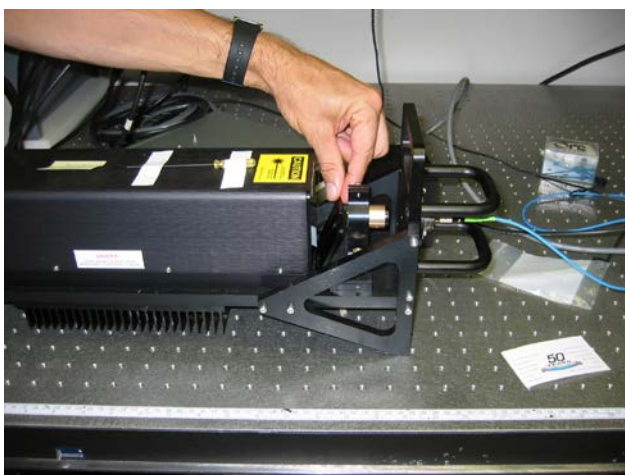
Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Mantenimiento de equipos

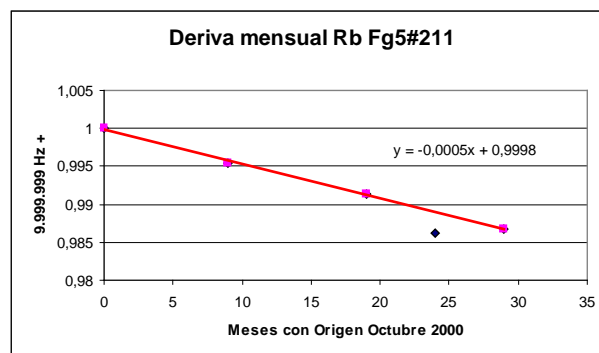
- Limpieza y calibración de componentes



Limpieza y ajustes en el patrón de medida (Laser)



Limpieza de óptica



Calibración deriva patrón tiempo (Reloj rubidio)



# El Instituto Geográfico Nacional

25

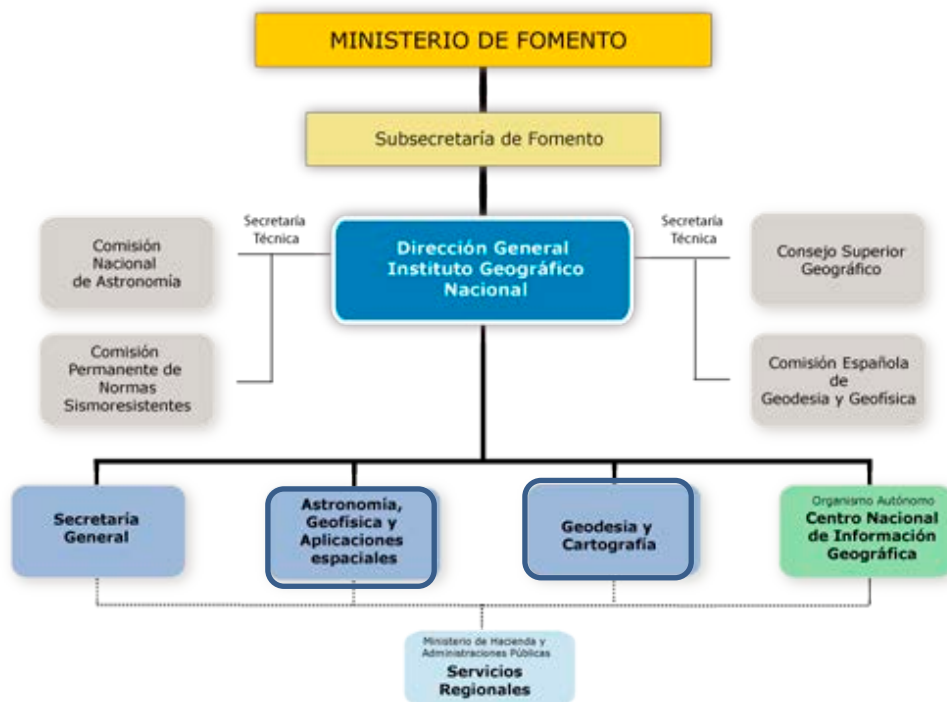
Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

[Real Decreto 452/2012, de 5 de marzo](#), por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Fomento



REGA  
E. Núñez





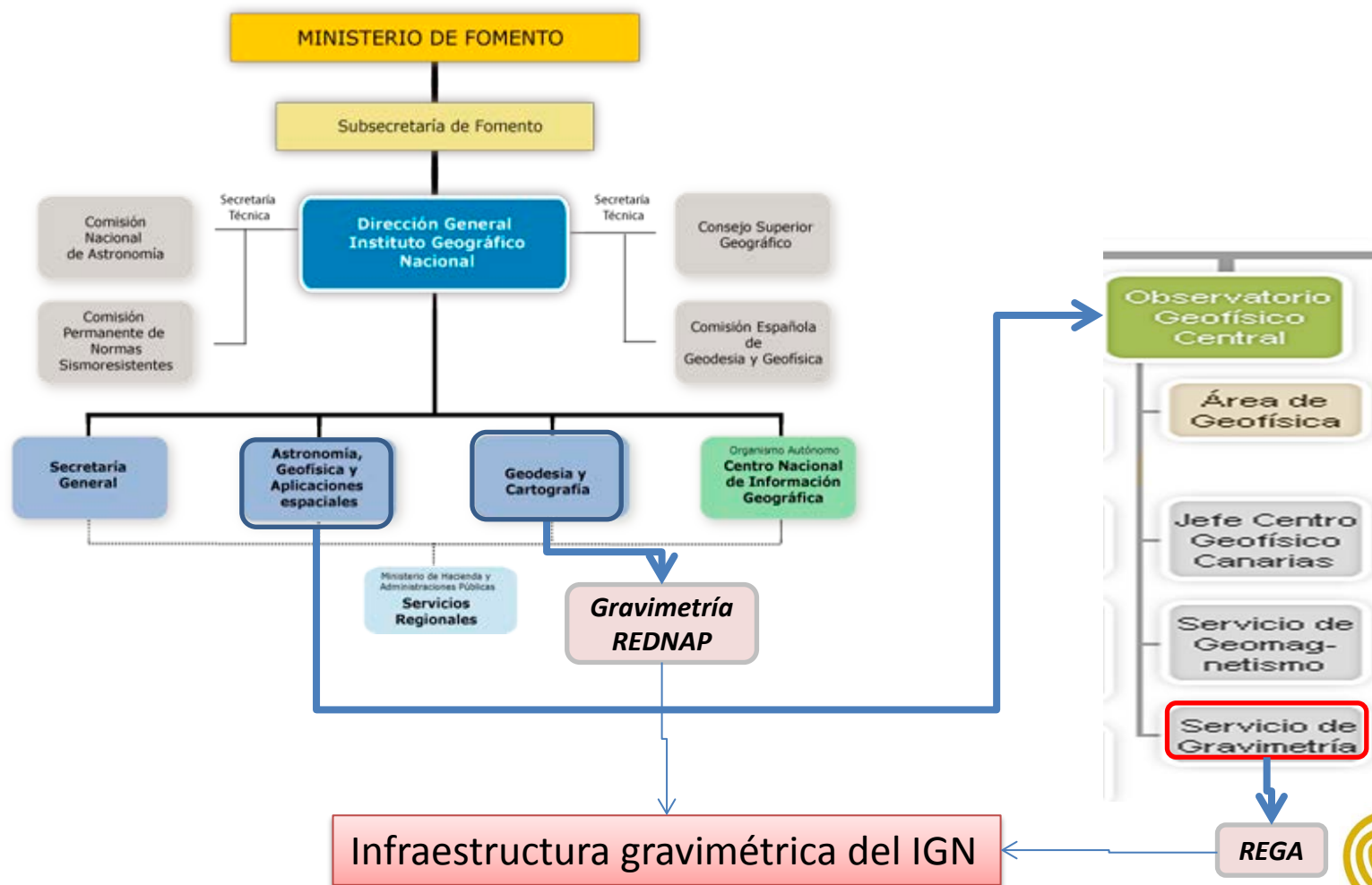
Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL - GRAVIMETRÍA





Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Centro de referencia de Gravimetría (Observatorio de Yebes)



REGA  
E. Núñez







Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

## Centro de referencia de Gravimetría (Observatorio de Yebes)

Superconductor GWR-OSG-059



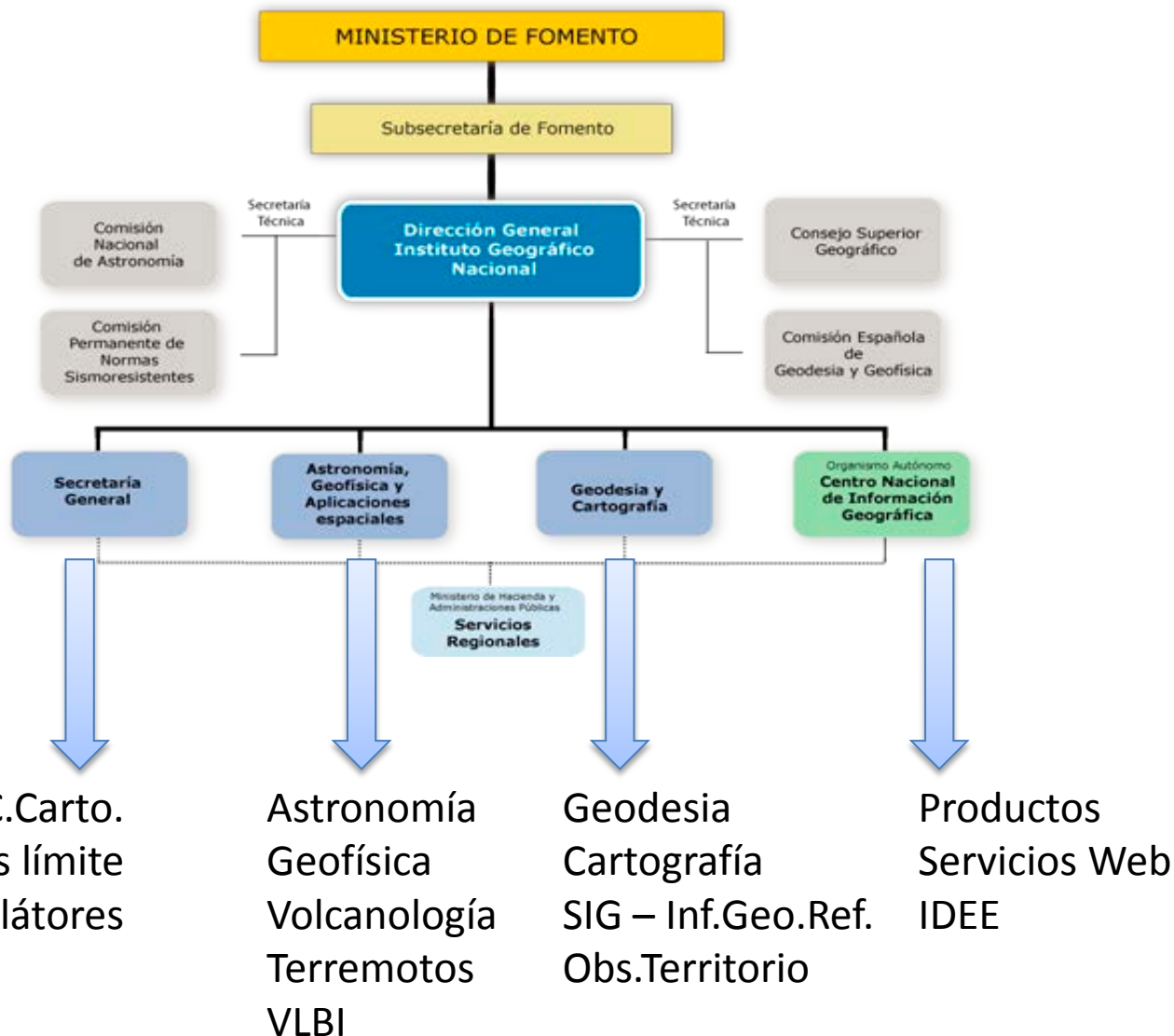
FG5#211







## -> Trabajar en el IGN



Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez





# Red de Gravimetría Absoluta - REGA

30

## ¿Cómo acceder al IGN?

[www.ign.es](http://www.ign.es)



Nº Becas	Áreas	Cuantía	Duración
14	<ul style="list-style-type: none"><li>• Atronomia</li><li>• Geodesia</li><li>• Geofísica</li><li>• Geomática</li><li>• Cartografía</li></ul>	1000€/mes + cursos/viajes + gratificaciones	2 años + 2 años

### OPOSICIONES 2014

- **(2Libre+2Interna) Ingeniero Geógrafo** (Grupo A1): retribución inicial aproximada de 1.700 €/mes
- **(3 Libre) Ingeniero T. Topografía** (Grupo A2): retribución inicial aproximada 1.300 €/mes



Jaén  
16.03.15

Gravedad y  
Gravimetría

Gravimetría  
en el IGN:  
REGA

El IGN

REGA  
E. Núñez





## GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN

Eduardo Núñez Maderal

[enmaderal@fomento.es](mailto:enmaderal@fomento.es)

con la colaboración del Observatorio Geofísico  
Central del IGN (Sergio Sainz-Maza, Carmen López)

