

## 4.1. GRABIMETRIA: SARRERA ETA NEURKETAK

### SARRERA

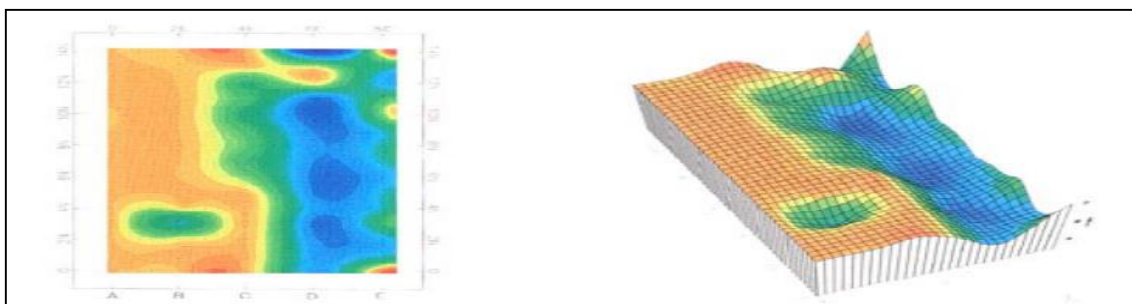
Lurraren, edozein planetaren eta sateliteen grabitate-eremua denboran edo espazioan zehar neurtzen, ikertzen eta interpretatzen duen geofisikaren adarra.

**Geodesia:** Lurraren itxura, “geometria”, dimentsioak eta izaten dituen deformazioak analizatzen dituen geofisika adarra.

Aplikazio eremua: Zertarako?

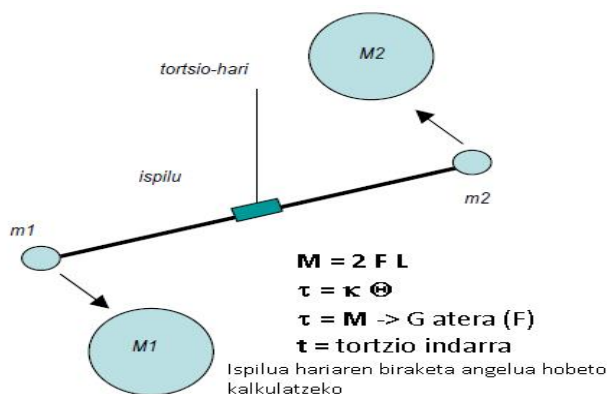
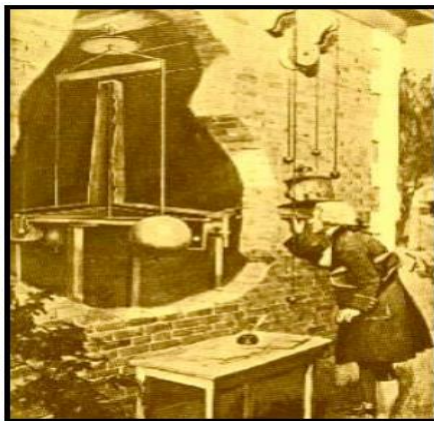
- Lurraren barne egitura ikertzean edozein eskalatan.
- Lurrazalaren deformazioa (isostasia) analizatu eta kuantifikatzea.
- Itsasaldiak aztertzea (ilargiaren eta eguzkiaren grabitate-eremuak eraginda).
- Planeta eta sateliteen orbitak definitzea.
- Hobi mineralak, hidrokarburoak eta ura aurkitzea.

Adb.: Grabitate anomaliak erabiliz barrunbe geologikoen kokapena jakin daiteke, **anomalía mapa** eraikiz. Uraren bilaketa: Urak alboko arrokek baino dentsitate txikiago dute beraz, anomalia negatiboa erakutsiko dute, hots, grabitate txikiago izango da puntu bertikal horietan. Beraz, mapa aztertuz ikusi daiteke grabitate desberdina dela lekuan lekuko, kolore argiek grabitate handiagoa erakusten dute (anomalía positiboa) eta kolore ilunek, ostera, grabitate txikiagoa erakusten dute (anomalía negatiboa).



### HISTORIA

- Lehendabiziko lurraren grabitatearen neurketa (Galileo XVI. mendean),  $5 - 6 \text{ m/s}^2$
- 1685 Newtonen Grabitate Unibertsalaren Legea.
- 1797. Cavendish-ek tortzio-balantza batekin Grabitate Unibertsalaren Konstantea balioa neurtu zuen.  $G = 6.754 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$ . Nola?



- 1888. Rolan von EÖTVÖS hungariarrak prospekzioan erabiltzeko lehendabiziko tortzio-balantza egin zuen.

- 1915-1916. Fekette eta Pekar. Geologia-prospekzioan lehenengo aldiz erabili zen tortzio-balantza. Txekoslovakiako Egbell petrolio-eremuaren egitura zehaztuz.
- 1917. W. Schweydar. Alemaniako gatz-domo baten egitura ere zehaztu zen. Gatzek alboko arrokek baino dentsitate txikiago baitute eta ondorioz balore grabimetriko negatiboa ematen du gorputzak. Egitura hau geroxeago zundaketekin egiaztatu zen.
- 1918. Grabimetroaren erabileraren sustapena.
- 1919. Grabimetroarekin lehenengo gatz-domo baten egitura zehaztu zen Hungrian.
- Egun, mugikorrak diren grabimetroak erabiltzen dira; ateratako datu guztiak ordenagailuen bitartez tratatu egiten dira; Kokapen sistemek (GPS) batera lan egiten dute.

### Zertan datza grabimetria?

Lurrazalean lateralki dauden dentsitate aldaketak (anomaliak) antzeman egingo ditu. Bi puntutako grabitatea neurtuz (grabitate erlatiboa). Ondorioz, dentsitate handiko zein dentsitate gutxiko arrokek aurkitzeko balio du (granitoak, gatz diapiroak, hidrokarburoak...).

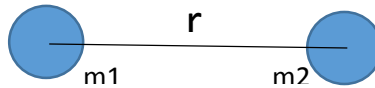
- Anomaloa positibo → dentsitate altuko arrokek
- Anomaloa negatibo → dentsitate baxuko arrokek

Arazoa: Lateralki dauden dentsitate aldaketak oso txikiak, beraz aparatuek ebazpen handia izan behar dute eta datu zehatzak hartu behar dira.

Adb.: Azelerazioa Lurrean=  $9.8 \text{ m/s}^2$  | Anomaliak:  $100 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ -tik  $100 \times 10^5 \text{ m/s}^2$  – ra

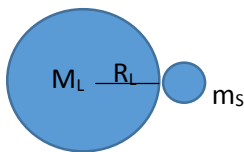
Newtonen Grabitatearen Legea: Bi masek ( $m_1$  eta  $m_2$ ) elkarrengan eragindako indarra haien masen biderkaduraren zuzenki proportzionala eta haien arteko distantziaren berbiduraren ( $r^2$ ) alderantzizko proportzionala da.

$$F = G (m_1 m_2) / r^2$$



- $6.67259 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$  (N.S.U.)
- $6.67259 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
- $6.67259 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-2} \text{ s}^{-2}$

Lurrean masa txiki batentzat:



$$F = (G M_L m_s) / R_L^2$$

Newtonen 2 legea.:  $F = (G M_L m_s) / R_L^2 = m_s g \rightarrow g = G M_L / R_L^2$

Lurraren masa =  $5.96 \times 10^{24} \text{ kg}$

Dentsitatea lurrean =  $5500 \text{ kg / m}^3 \rightarrow$  baina arroka gehienek dentsitate txikiagoa dute, beraz, sakonena dentsitate askoz altuagoak egon behar dira.

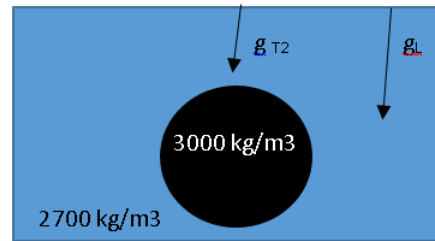
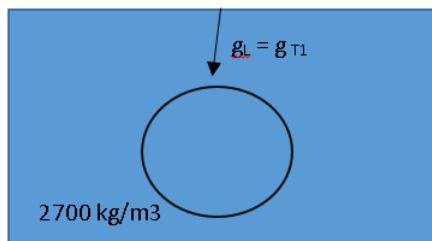
Table 6.2 Approximate density ranges ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) of some common rock types and ores.			
		Anorthosite	2.61–2.75
		Basalt	2.70–3.20
		Gabbro	2.85–3.12
Alluvium (wet)	1.96–2.00	Gneiss	2.61–2.99
Clay	1.63–2.60	Quartzite	2.60–2.70
Shale	2.06–2.66	Amphibolite	2.79–3.14
Sandstone		Chromite	4.30–4.60
Cretaceous	2.05–2.35	Pyrrhotite	4.50–4.80
Triassic	2.25–2.30	Magnetite	4.90–5.20
Carboniferous	2.35–2.55	Pyrite	4.90–5.20
Limestone	2.60–2.80	Cassiterite	6.80–7.10
Chalk	1.94–2.23	Galena	7.40–7.60
Dolomite	2.28–2.90		
Halite	2.10–2.40		
Granite	2.52–2.75		
Granodiorite	2.67–2.79		
		NB. The lower end of the density range quoted in many texts is often unreasonably extended by measurements made on samples affected by physical or chemical weathering.	

## ARROKEN DENTSITATEA

Lurra esferikoa eta homogenoa balitz, puntu guztietan grabitatearen balio berdina izango zen, baina, ez da horrela. Lurra heterogeneoa da eta ez da esferikoa.

Dentsitate unitateak  $\rightarrow \text{kg m}^{-3} \neq \text{Mg m}^{-3} = \text{gr cm}^{-3}$

Dentsitatea neurtzeko arroka hartzerakoan kontu handia izan behar da: azaleko edo aldatutako laginak dentsitate baxuago erakusten dute sakoneko arroka freskoek baino. Aldaketa mineralogikoak eman direnez dentsitatea ere aldatzen da eta balio jaisten da presio baxuagoko egoeratan izaten delako. Balio egokia hartzeko erabilitako tresnari **pignometro** deritzo. Grabitate anomalia dentsitate kontrastearen arabera baita.



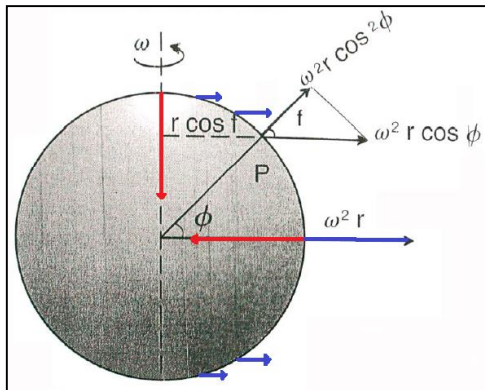
$$g_L = g_{T1} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$g_{T2} = 9.800105 \text{ m/s}^2$$

$$\delta g = g_{T2} - g_{T1} = 0.000105 \text{ m/s}^2$$

- Grabitate anomaliak oso txikiak izaten dira g-rekin alderatuz.
- Unitate berriak, Gal-ak (Galileoren oroimenez)
- $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 0.01 \text{ m/s}^2$
- $1 \text{ miliGal (mGal)} = 1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}^2 = 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$
- Unitate grabimetrikoa  $= 0.1 \text{ mGal} = 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$
- grabimetria neurtzeko tresneriak, grabimetroak alegia  $1 \times 10^{-3} \text{ mGal}$ -ko doitasuna

## GRABITATEAREN BANAKETA LURRAZALEAN



$$g_{\text{poloa}} = g - 0 \quad | \quad g_{\text{ekuatorea}} = g - A_z$$

$$g_{\text{poloa}} > g_{\text{ekuatorea}}$$

g-ren balio maximoa bi poloetan ematen da eta minimoa ekuatorea, bertan ematen delako azelerazio zentrifugoaren balio maximoa. Ondorioz  $R_{\text{ekuatorea}}$  handiena da eta  $R_{\text{polo}}$  txikiena.

$$a_{\phi} = g - az_{\phi} \rightarrow az_{\phi} = \omega^2 r \cos^2 \phi$$

Latitudearen arabera g aldatzen denez, zuzenketa bat egin beharra dago, latitudearen arabera g aldaketa baztertzeko eta bakarrik eta errazago gutxienezko eta gehienezko masak detektatzeko.

- Azelerazio zentrifugoaren lurra deformatu egiten da, elipsoide geometria hartuz (Newton, XVIII).

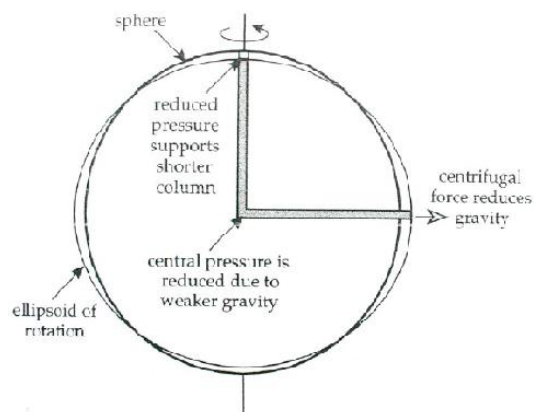


Fig. 2.2 Newton's argument that the shape of the rotating Earth should be flattened at the poles and bulge at the equator was based

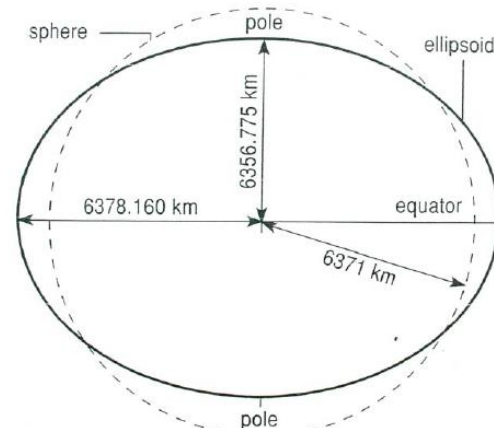


Figure 9.17 Shape of the Earth.

## Ariketa

$$g_{\text{ekuatorea}} = G * M_L / R_{LE}^2 = 6.67259 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} * 5.96 \times 10^{24} \text{ kg} / 6378160^2 \text{ m} = \underline{\underline{9.7757 \text{ m s}^{-2}}}$$

$$g_{\text{poloa}} = G * M_L / R_{LP}^2 = 6.67259 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} * 5.96 \times 10^{24} \text{ kg} / 6356778^2 \text{ m} = \underline{\underline{9.8416 \text{ m s}^{-2}}}$$

- Zapaltasun indizea (biraketa elipsoidearen zapaltasuna, f - elipsoidea)

$$1/f = L_{RE} / (L_{RE} - L_{RP})$$

Taulan ikusten den aldaketa bortitzak bi arrazoiengatik izaten dira. Lehenengo neurketak azkenengoeekin konparatuta alde handia dago, gaur egun, teknika egokiagoen erabilera ondorioz neurketa zehatzagoa da. Gainera, ikus daiteke azken neurketen aldeak oso txikiak direla. Baina hala ere, denbora aurrera joan ahala, zapaltasun indize handitu egiten da, hau azelerazio zentrifugoaren ondorioz ematen da.

	Date	1/f
Newton	1687	230
Legendre	1789	318
Bessel	1841	299
Clarke	1866	295
Helmert	1901	298,2
Hayford	1909	297,0
Heiskanen	1928	297,1
Elipsoïde international	1930	297,0
Jeffreys	1948	297,1
Elipsoïde international	1967	298,247
Elipsoïde international	1980	298,257

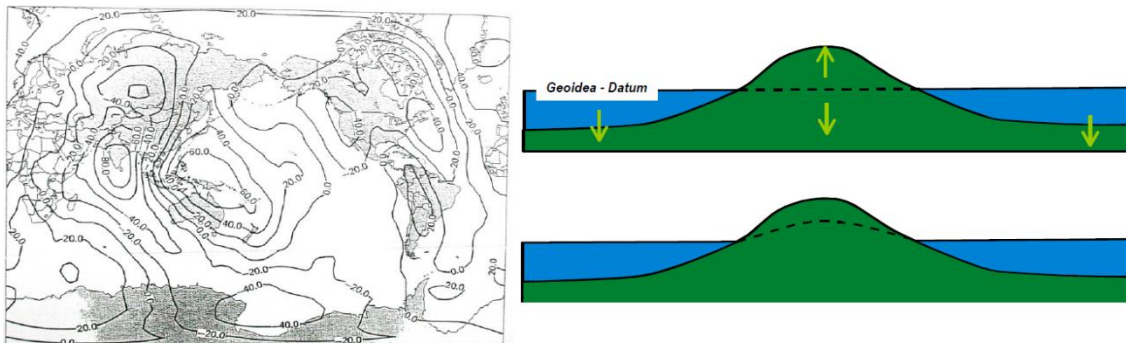
**Ariketa:** Aurreko datuak erabiliz kalkulatu zapaltasun indizea:

$$1/f = L_{RE} / (L_{RE} - L_{RP}) = 6378160 \text{ m} / (6378160 \text{ m} - 6356778 \text{ m}) = 298.296$$

### GEOIDEA

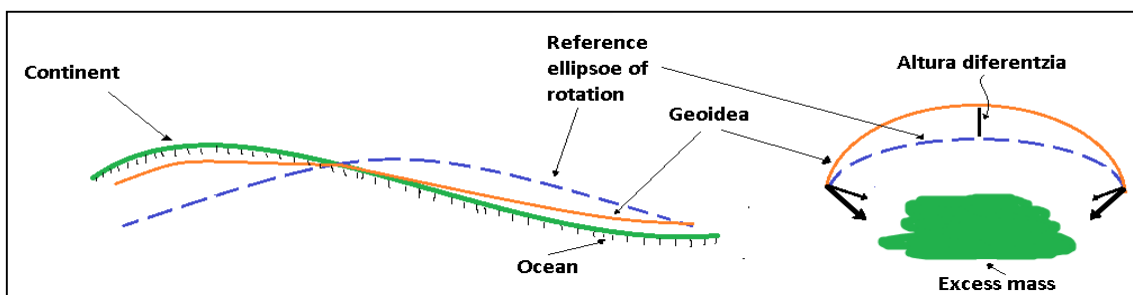
a) Itsas azalarekin bat etorriko zen grabitate ermuaren azal ekipotentziala (Itsas azalak adierazten duen luraren grabitate eremuaren azal ekipotentziala). Itsas azalaren puntu guztietan g bardina betetzeko. → Geoideak itsas azalarekin bat egingo du.

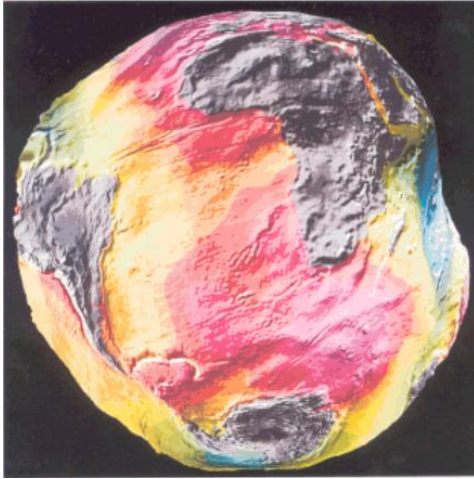
b) Kontinentean geoidea kalkulatzeko, itsas urak kontinentean barrena egindako kanal ireki batean izango zuen altuera hartzen da kontuan.



Garrantzia: Geoidea izango da eskualde eskalan egingo diren ikerketa grabimetriko guztietan hartuko de erreferentzia azala. "Datum" deituko diogu. Ikerketa grabimetrikoak tokiko eskalan egiten direnean, erreferentzia azala geoidearen edo guk nahi dugunaren azal ekipotentziala izan daiteke.

Geoidearen geometria. Irregularra edo erregularra ? Geoidearen geometria ez da guztiz erregularra, goragune eta sakonunez osatuta egongo da. Mendi eremuetan dagoen grabitateak ur-kanala altxatuko dute eta osteraz ozeano oso sakonetan geoidearen azala sakondu egingo da.





Geoidearen azken emaitza lur osorako aurreko irudia izango litzateke. Kontinentetan punturik urrunenak agertzen dira grabitate handiari aurre egiteko. Eta ozeanoetako puntu sakonenetan lurraren zentrotik gertuen dauden puntuak kokatzen dira, g txikia berdintzeko.

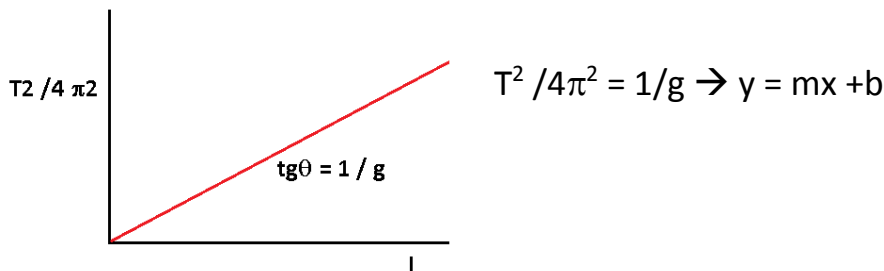
## GRABIMETRIAREN NEURKETA

**1. Absolutuak:** Grabitatearen balio absolutuak kalkulatzen dira. Neurtzeko zailenak izango dira: Grabitatea azelerazio bat da eta ondorioz denbora eta distantzia jakin batean kalkulatu behar da.

**I. Pendulua:** Lehenengo aldiz XVII. Mendean eta grabitatea neurtzeko lehen metodoa izan zen. Pendulu baten periodoa neurtzean datza. Periodoa penduluaren tamaina eta grabitatearen balioaren arabera da.  $T \rightarrow$  periodoa |  $l \rightarrow$  penduluaren luzera |  $g \rightarrow$  grabitatearen

$$T = 2 \pi (l / g)^{1/2} \rightarrow g = 4 \pi^2 / T^2$$

Arazoak: Ez da erabilgarria landan neurketak egiteko, oszilazio asko neurtu behar direlako milaka lekutan. Doitasuna  $\pm 0.0001 \text{ m/s}^2$



**II. Erortze librea:** Huts ganbera batean gorputz batean erortze libre neurtzen da (A-10 grabimetroa, 7 cm-ko altuerako ganbera). Ekuazioa:

$$X_f - X_0 = V_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

Arazoa: Ez da erabilgarria landan (eramateko zailtasunak). Doitasuna:  $\pm 10 \text{ mGal}$

**2. Erlatiboak:** Bi puntu desberdinetan grabitateak duen balioaren diferentzia neurtzen da (ez dute inportantzia balio absolutuek)

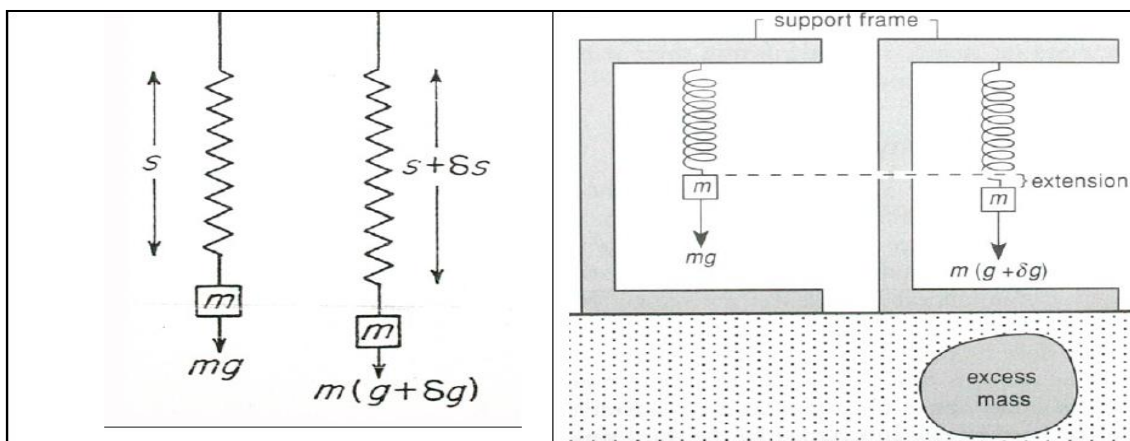
**I. Grabimetroak:** Malguki batek izaten duen luzera aldaketak kalkulatu eta bertatik grabitatea erlatiboak kalkulatzen dira. Irudian ikusi daitekeen bezala gehiegizko masa bat dagoenean, grabitate azelerazioa handitu egiten da eta ondorioz erakarpen indarra ere



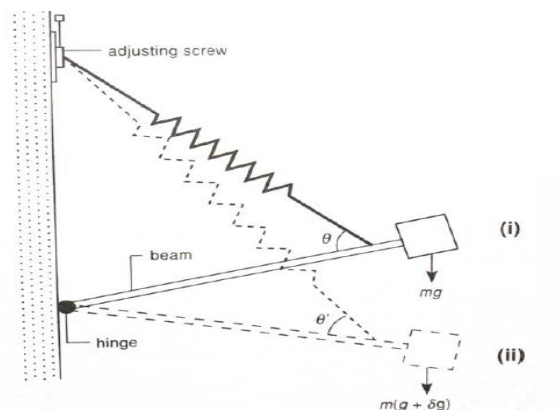
malgukiaren luzera eraginez. Gehitutako masa: Masa gehigarria – masa gehigarri gabeko bolumenaren masa.

Grabitate balioaren gehitzeak malgukiaren luzapen dakar. Luzapena, azelerazio gehitzearekin zuzenki proportzionala. Lurrean malgukiak izan dezakeen luzera  $1 \times 10^{-3}$  mm-koa da.

$$F = m\Delta g - k\Delta s \text{ eta } \Delta s = \Delta g \, m/k$$



Distantziak kalkulatu beharrean errazagoa da angeluak kalkulatzeko. Horretarako grabimetroaren egitura aldatu zen, berriak sortuz. Kasu honetan masa zintzilikatuta egon beharrean, puntu mugikor batean lotuta dagoen makil batean jartzen da. Grabitate-eremuaren gehitzearen ondorioz malgukia eta besoaren arteko angelua gutxitzea ematen da. Angelu aldaketa grabitate eremuaren eta malgukiaren luzapen aldaketaren zuzenki proportzionala da. Doitasuna: +/-5000 -0.01 mGal.



Mikrograbimetroak: Doitasuna gora doa. Eramangarriak dira hauek.

LACOSTE & ROMBERG (0.01 mGal) | SCINTREX CG-5 (0.005 mGal) | WORDEN (1948)

## 4.2. GRABIMETRIA: ZUZENKETAK ETA ANOMALIAK

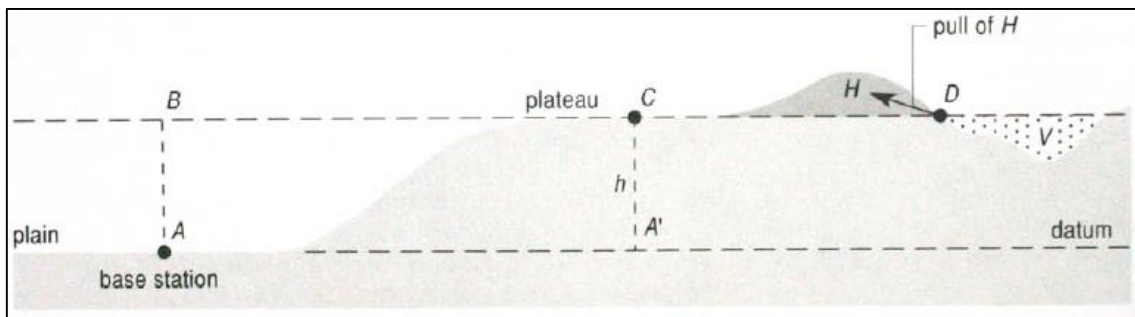
Grabitate anomalia- Geoidea ("Datum") kontuan izanda neurketa-puntu batean positiboak edo negatiboak izan ahal diren grabitate aldaketak, hots: puntu batean neurtutako grabitate eremuaren balioa eta hor bertan espero zen grabitate-eremuaren balioaren diferentzia (tokiko eskalan-estazio basea).

### ZUZENKETAK:

#### 1. eskualde eskala

- |                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| 1.1. Latitude zuzenketa   | 1.4. Lur zuzenketa    |
| 1.2. Aire-libre zuzenketa | 1.5. Eötvös zuzenketa |
| 1.3. Bouguer zuzenketa    |                       |

#### 2. Tokiko eskalan

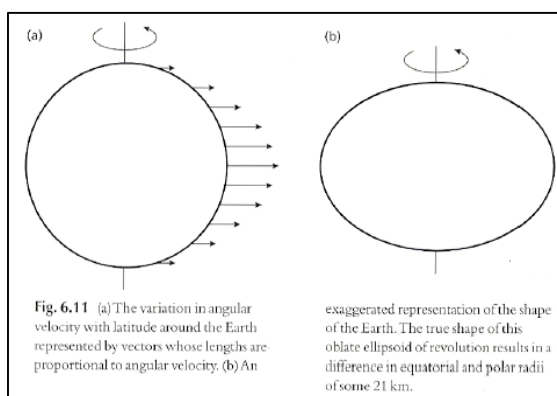


Hartutako puntu batetan zeintzuk dira espero beharko genukeen grabitate eremuaren balioak?

B ko grabitate eremua → Kendu behar da A-B distantzia.

C ko grabitate eremua → Batetik kendu behar da batetik, mendiak eragiten duen grabitate eremuaren gehikuntza, A'-C arteko altuera desberdintasuna eta A-C ra izango zen latitudearen ondoriozko grabitate eremuaren aldaketa.

#### 1.1. Latitude Zuzenketa



Grabitatearen balioa latitudearekin batera aldatzen da. Lurra ez da guztiz esferikoa.  $A_z$  -k luraren eliptikotasuna eragiten du.  $R_{\text{ekuatorea}} > R_{\text{polo}}$ . Lurrazaleko puntu desberdinetan  $V_{\text{angeluar}}$  desberdina dago. Ekuatorean balore maximoa eta poloetan balore minimoa. Poloetako grabitate eremua 5180 mGal handiagoa da ekuatorean baino.

**Clairauten formula**, "1907. Urteko mazioarteko grabitatearen formula" Erreferentziatzko

Elipsoidea +/- Geoidea.

$$g_{\theta} = 978031.8 (1 + 0.0053924 \sin^2 \theta - 0.0000059 \sin^2 2\theta) [\text{mGal}]$$

$$g_{\theta} = \text{latitude bateko grabitatea itsas mailan} \mid \theta = \text{latitudea (0-90°)}$$



Latituez aldatzen bagara, grabitate eremua aldatu egiten da. Longituez aldatuz gero grabitatea konstante mantentzen da.

**Ariketa:** Bilbo: 43° 19'. Grabitatea kalkulatu.

$$g_{\theta} = 978031.8 (1 + 0.0053924 \sin^2 43.316667 - 0.0000059 \sin^2 2 \cdot 43.316667) = 980508.1613 \text{ mGal}$$

**2016 – 03 – 16**

**Mittermoyerren formula** “1969. Urteko Nazioarteko Grabitatearen Formula”

$$g_{\theta} = 978031.85 (1 + 0.005278895 \sin^2 \theta - 0.000023462 \sin^2 2\theta) [\text{mGal}]$$

Beraz, LATITUDE ZUZENKETA =  $g_{\text{neurtua}} - g_{\text{datum}} = g_{\text{obs}} - g_0$

Latitude zuzenketa (Tokiko eskalan)

Edozein latitudetik (q) km ba l edo H mugituz gero zenbat aldatuko zen grabitatea?

$$\delta g_{\theta} = 0.812 (\sin 2\theta)$$

**Ariketa:** Iparraldeko 45° egonda iparralderantz 10 m eginez gero zenbat aldatuko zen grabitatea?

$$\delta g_{\theta} = 0.812 (\sin 2\theta) = 0.812 (\sin 2 \cdot 45) = 0.812 \text{ mGal/km}$$

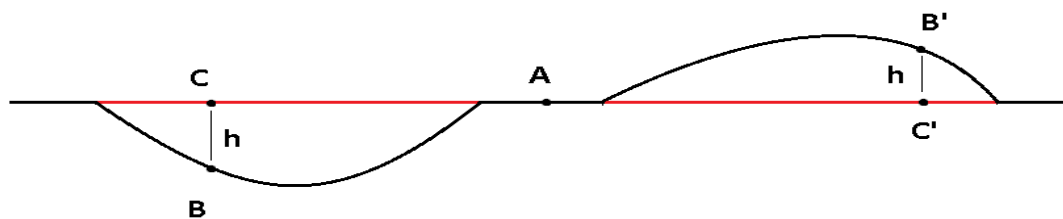
Beraz, 10 m → 0.00812 mGal

### 1.2. Aire Libre Zuzenketa (free air correction “FAC”)

Aire libre zuzenketa altuerarekiko (masa gabe) grabitate balioaren txikitzea edo sakonerarekiko balioaren handiagotzearen efektu zuzentzen du. Betik konparaketa bat eginez. Grabitate balioa  $R_L$ -ren alderantzizko proportzionala da.

$$G = G_{M_L} / (R_{\text{datum}} + h)^2$$

$$\text{FAC} = 0.3086 \cdot h \text{ mGal (h metrotan)}$$



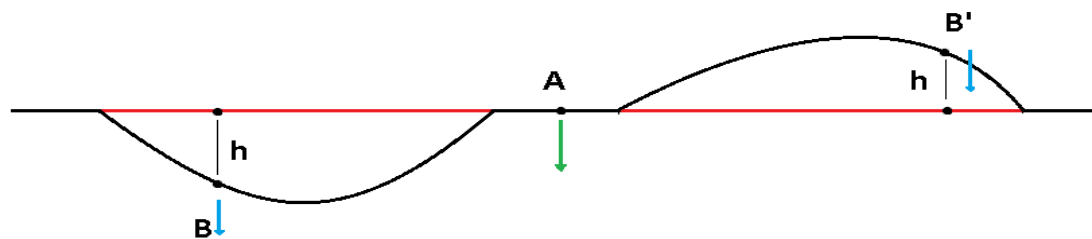
$$\begin{aligned} g_c &= g_b - \text{FAC} \\ g_b &= g_a + \text{FAC} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_{c'} &= g_{b'} + \text{FAC} \\ g_{b'} &= g_a - \text{FAC} \end{aligned}$$

### 1.3. Bouguerren Zuzenketa (Bouguer Correction “BC”)

Estazio base batetik gorantz edo beherantz dauden materialen pilaketak sortzen duen azelerazio balioa zuzentzen du. Gure estazio basea, goiko lautada batean jarrita dagoela suposatu beharko dugu.

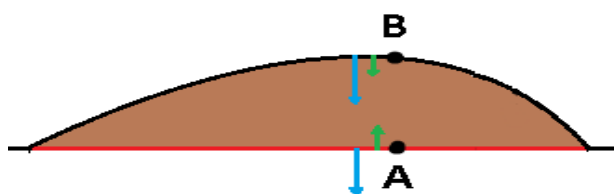
$$\text{BC} = 2 \pi G \rho h = 0.04193 \rho h \text{ mGal}$$



$$g_b = g_a + FAC - BC$$

$$g_{b'} = g_a - FAC + BC$$

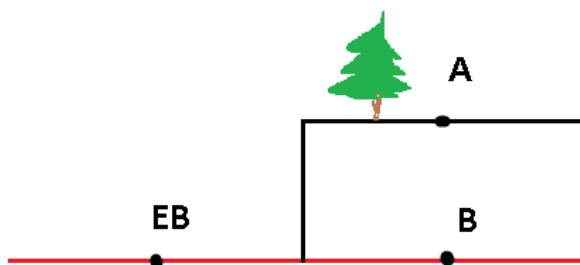
Bi puntuen artean masa badago, orduan BC-ren balio bikoitza izango da estazio baseko puntuari ere erakarpen indar bat eragiten diolako.



$$g_b = g_a - FAC + 2 BC$$

eta alderantziz balitz:

$$g_b = g_a + FAC - 2 BC$$



$$g_a = g_{eb} + BC - FAC$$

$$g_b = g_{eb} - BC$$

$$g_a - g_b = g_{eb} + BC - FAC - g_{eb} + BC =$$

$$= g_a - g_b = 2 BC - FAC$$

$$G_a = g_b - FAC + 2 BC$$

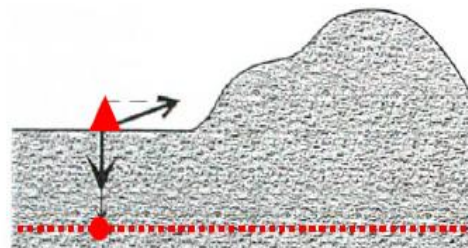
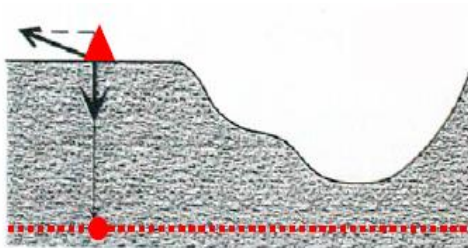
Bouguer eta aire libre zuzenketa (goragune zuzenketa)

$$\delta g = h (0.3086 - 0.04193\rho) \text{ mGal}$$

Kontuan eduki ikurrekin, aldatuz doazelako kasuan kasu, beraz, komeni da ez erabiltzea.

#### 1.4. Lur Zuzenketa (Terrain Correction "TC")

Eremuak lauak ez idren kasuetarako eukitzen da kontuan zuzenketa hau. Zuzenketa hau egiten da mendiak eta haranak dauden kasuetan. Balioa beti da positiboa,. Hauda, bai mendia egon bai harana egon biak norantza berean aldatzen dute.



### 1.5. Eötvös Zuzenketa (Eötvös Correction "EC")

Mugimenduan grabitatearen balio neurtzen duguenean erabiltzen den zuzenketa da. Mugitzaerakoan azelerazio zentrifugo bat eragiten da eta bere noranzkoaren arabera gehitu edo gutxitu egiten da grabitatearen balioa. Ekialdetik Mendebalderantz balio positiboak hartzen ditu eta Mendebaldetik Ekialderantz balio negatiboak.

$$EC = 4.040 V \sin \alpha \cos \theta + 0.001211 V^2 \text{ mGal}$$

$\alpha$  = bidaiaren norantza eta  $\theta$  = latitudea

**Ariketa:** Iparraldeko 55° latitudean dagoen eta E→M 1 km/h mugitzen den itsasontzi bat dago. Zenbateko zuzenketa? Positiboa edo negatiboa?

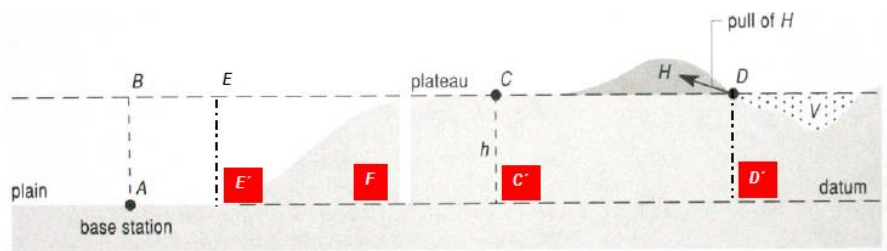
$$EC = 4.040 V \sin 270 \cos 55 + 0.001211 V^2 = 2.318 \text{ mGal} \rightarrow \text{Balio positiboa}$$

#### \*Itsasaldien zuzenketa

Eguzki eta ilargiak itsasoko urengan eragiten dute erakarpen indarra. Ondorioz, itsas azala deformatu egiten da → Grabitate eremua aldatu. Aldaketa gehienez 0.3 mGal da, beraz, gehienetan ez da kontuan hartzen.

#### \*Grabimetroaren jitoa (Drift)

Denborarekin eta uneko egoerekin estazio baseko grabimetroak grabitate neurketa aldaketak izaten ditu → Faktoreak: Tenperatura, presio atmosferikoa, malgukiaren nekea (Kte elastikoa handitu).



2016 – 03 – 17

### ANOMALIAK:

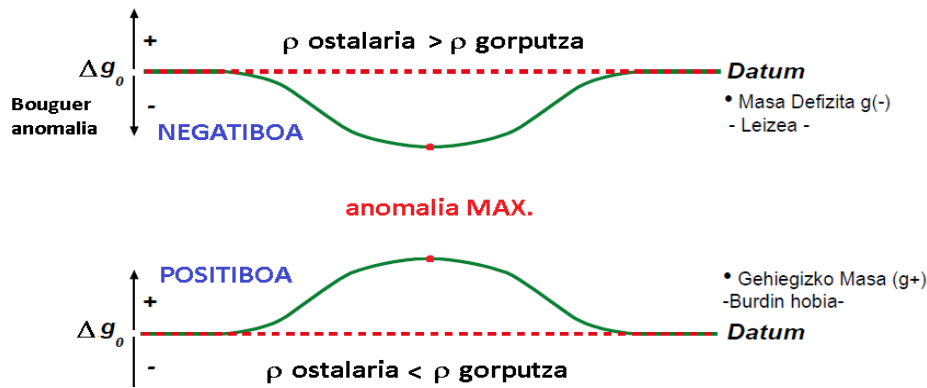
#### 1. Bouguer Anomalia (Bouguer anomaly)

Ikusitako zuzenketa guztiak egiten dira eta gero ateratzen zaigun zuzendutako anomaliari Bouguer anomalia deituko diogu (Bouguer anomalia =/= Bouguer zuzenketa).

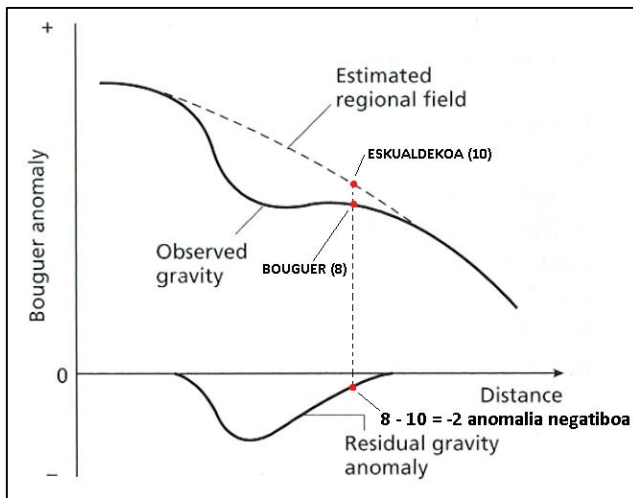
$$BA = g_{obs} \pm FAC \pm BC + TC (\pm EC) - g_0$$

Bouguer anomaliaren helburu nagusia Datumaren azpitik dauden dentsitate aldaketak adieraztea da, latitudeak eta topografiak grabitate eremuan eragiten dituzten efektuak baztertuz.

Ikusitako zuzenketa guztiak prezisio handiz egin daitezke, batez ere, distantziak neurtzen direlako Bouguer zuzenketan izan ezik. Hau, arroka, Datum eta azalaren artean duten dentsitatearen araberrakoa izango dira → Arroken dentsitatea kontu handiz neurtu daiteke baina interpretazio geologikoan ere baliatu behar da.



## 2. Eskualde eta Hondar Anomalia (Regional and residual anomaly)



Hasiera baten lurra guztiz homogenoa balitz, leku guztietan grabitate eremuaren balio berdinak izango ziren. Bouguer anomalia mapa homogenoa izango zen. Baina ez da horrela, mapak grabitate eta dentsitate aldaketak nabarmentzen baititu. Bouguer anomali maoa batean ikusten diren anomaliak bo motatakoak izan daitezke.

- Eskualde Anomalia (EA): Eskualdeko eskalan ager daitezkeenak edo guk ikertu nahi dugun gorputza baino handiagoak direnak.

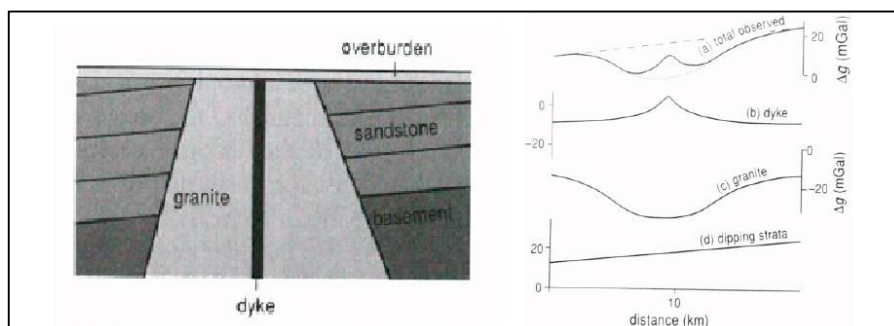
- Hondarreko Anomaliak (HA): Tokiko anomaliak izango dira.

$$EA + HA = BA$$

Biak gorputz zein geologia egiturek eragiten dituzte. Lateralki gertatzen diren dentsitate aldaketak sortzen dituzte. Bouguer anomalia, eskualde eta tokiko anomaliak gainjarrita aurkitu ditzazkegu. Bouguer anomalian eskualde anomalia grafikoki ken diezaiokegu → anomalia joera orokorra kenduz. Gorputz geologikoei eragiten dituzten anomaliak interpretatzeko lehenengo Bouguer anomalian eskualdeko anomaliak kendu beharko dizkiegu.

2016 – 03 – 22

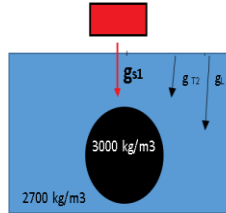
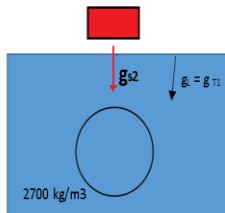
## 3. Gorputz Geometriko Sinple batzuen Grabitate Anomaliak



- **Esferek eragindakoak** (gatz diapiroak, plutoiak...)

G anomalia eragiteko arroka ostalariak baino  $\rho$  handiagoa edo txikiagoa izan behar du

G anomalia balioaren handitzeak, adieraziko digu gorputzak (esferak) arroka ostalariak baino  $\rho$  handiagoa duela. Eta alderantziz.



$$g_{s2} = GM_2 / R^2 \mid g_{s1} = GM_1 / R^2$$

$$M = \rho * v = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$\Delta g = g_{s1} - g_{s2} = (G\rho_1 * \frac{4}{3} \pi r^3) / R^2 - (G\rho_2 * \frac{4}{3} \pi r^3) / R^2$$

$$= 4 \pi r^3 G / 3R^2 (\rho_1 - \rho_2) = 4 \pi r^3 G / 3R^2 (\Delta\rho)$$

**Ariketa**

$$Dg = G \Delta m / R^2 = G / R^2 * \frac{4}{3} \pi r^3 \Delta \rho \rightarrow \Delta g = G / 100^2 * \frac{4}{3} \pi 50^3 * 300 = \underline{1.048 * 10^{-6} \text{ m/s}^2}$$

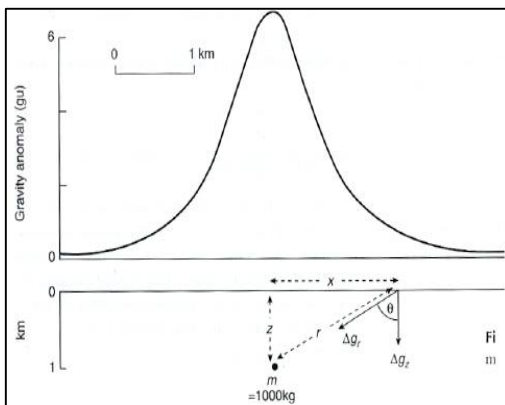
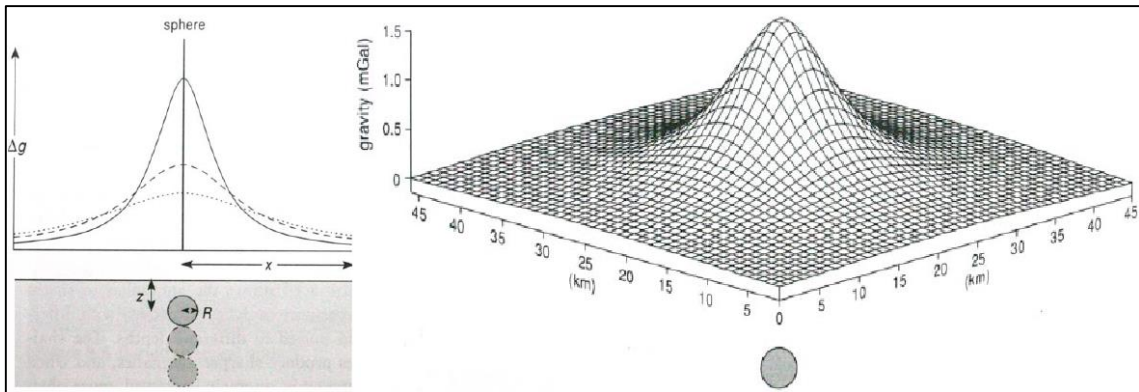
$\Delta g \rightarrow$  sakonean masa eta  $r$  aldaketan arabera izango da esfera batek eragiten duen grabitate anomalia profila.

Masa (gora) edo  $\Delta\rho$  (gora)  $\rightarrow \Delta g$  (gora)

Sakonera (gora)  $\rightarrow \Delta g$  (behera)

Anplitude txikiagoa

Zabalera handiagoa



$\Delta g \rightarrow$  esferarekin lateralki dagoen distantziaren arabera izango da. Grabimetroak bakarrik  $g$ -ren bertikala den konponentea neurtzen digu, orduan esfera horrek eragiten duen  $g$  eremuaren balioa  $g_z$  izango da.

$$g_r = Gm / R^2 \rightarrow g_z = Gm / R^2 \cos\theta \rightarrow \cos\theta = Z / R =$$

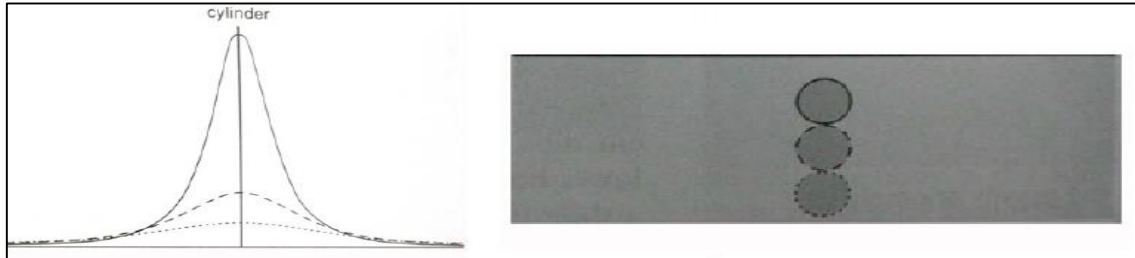
$$= Z / (Z^2 + x^2)^{1/2}$$

$$g_z = Gm_z / (Z^2 + x^2)^{3/2} \rightarrow Dg = (4G \pi r^3 Z \Delta\rho) / 3 (Z^2 + x^2)^{3/2}$$

- **Zilindroek eragindakoak:**  $\Delta g \rightarrow$  esfere eragindakoen antzekoak

$$\Delta g = 2 \pi r^2 G (\Delta \rho) / z \quad Dg = 2 \pi r^2 G z (\Delta \rho) / (z^2 + x^2)$$

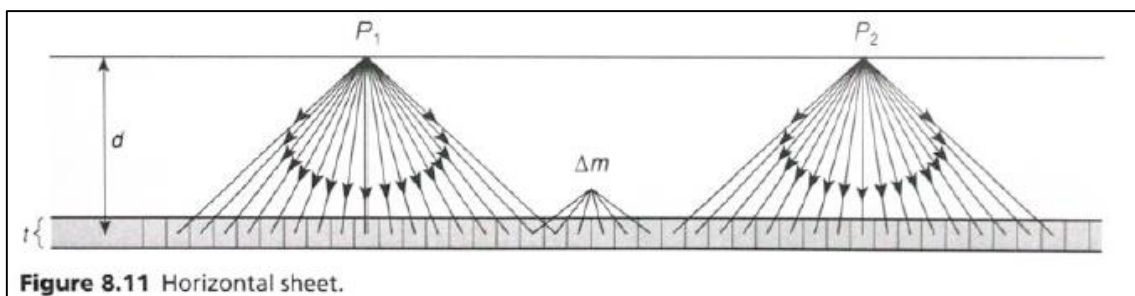
Diferentzia esferikoarekin: anomalien geometria sakonera berbera izanda zorrotzagoa da  $\rightarrow$  puntu batek pairatzen duen grabitate indarra handiagoa izango da.



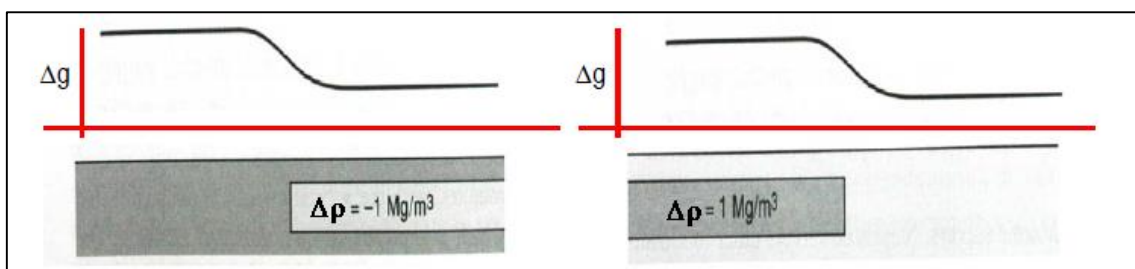
- **Plano-infinituek eragindakoak:** Ez dute grabitate anomaliarik sortuko ordea grabitatearen balioa handitu egingo da.

$$\delta g = 2 \pi G \Delta \rho t$$

$t$  = gorputzaren potentzia |  $\delta g$  = grabitate gehitzea |  $D\rho$  = gehiegizko masa



- **Plano erdi-infinituek eragindakoak:** Lateralki bat-batean mozten diren planoak dira (fazio aldaketak, failek moztuak edo mugitutako geruzak). Geruzaren etenetik urrun, plano infinitu bezala jokatzaren du eta ez dago anomaliarik. Berriz, etenera hurbiltzen garenean grabitate balioak aldatuko dira, grabitate anomalia sortuz.

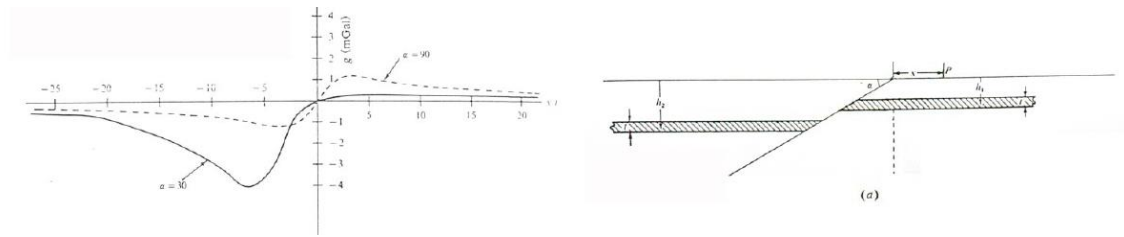


Plano erdi infinitu horrek zenbat eta sakonago egon orduen eta grabitate aldaketa gutxiago eragingo du (grabitate profil lauagoa). Grabitate anomalia profilaren inflexio puntua bertikalean bat egingo du geruzaren etenarekin.

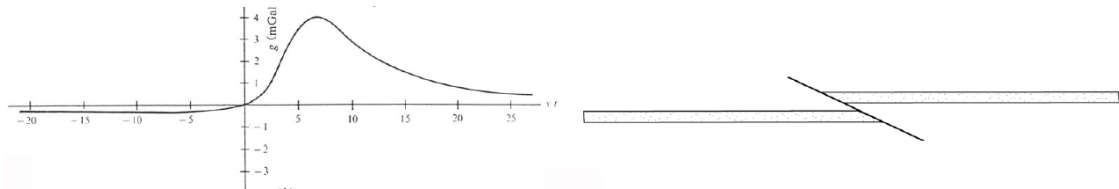
**FAILAK:** Faila baten eraginez bi plano erdi finitu sortzen dira. Ikusitako grabitate anomalia faila motaren.



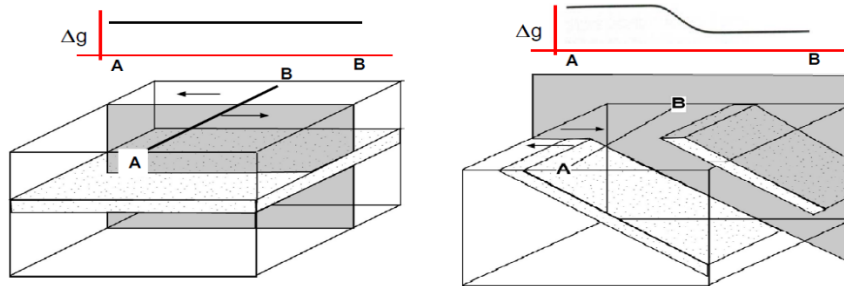
**Faila Normala:** Plano erdi-finituen desagertzea eragiten du.



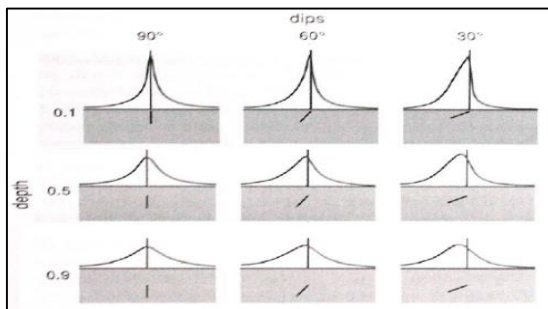
**Alderantzizko Faila:** Plano erdi-finituen errepikatzea eragiten du.



**Urratze Faila:** a) geruzapen horizontalak moztu | b) geruza okertuak moztu



**-Erdi-infinitu planoak baino txikiagoak diren planoek eragindakoak (dikeak):**

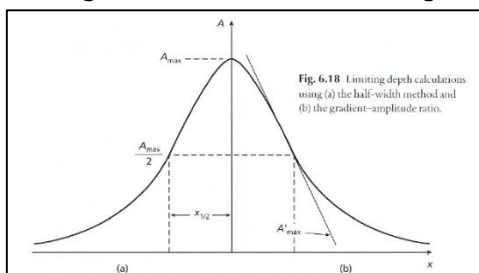


Gorputza hauek eragiten dituzte grabitate anomalia sakoneraren eta okerduraren arabera da.

- Sakonera (gora) Anplitudea (behera) Zorrotza (behera)
- Okerdura (gora) Asimetria (gora)

#### 1.4. Hondar Anomalien Interpretazioa

Batzuetan hondar anomaliak geometria eta tamainak gorputz anomaliaren erdi-zabalera metodoa bati dagokion informazioa ematen digu.

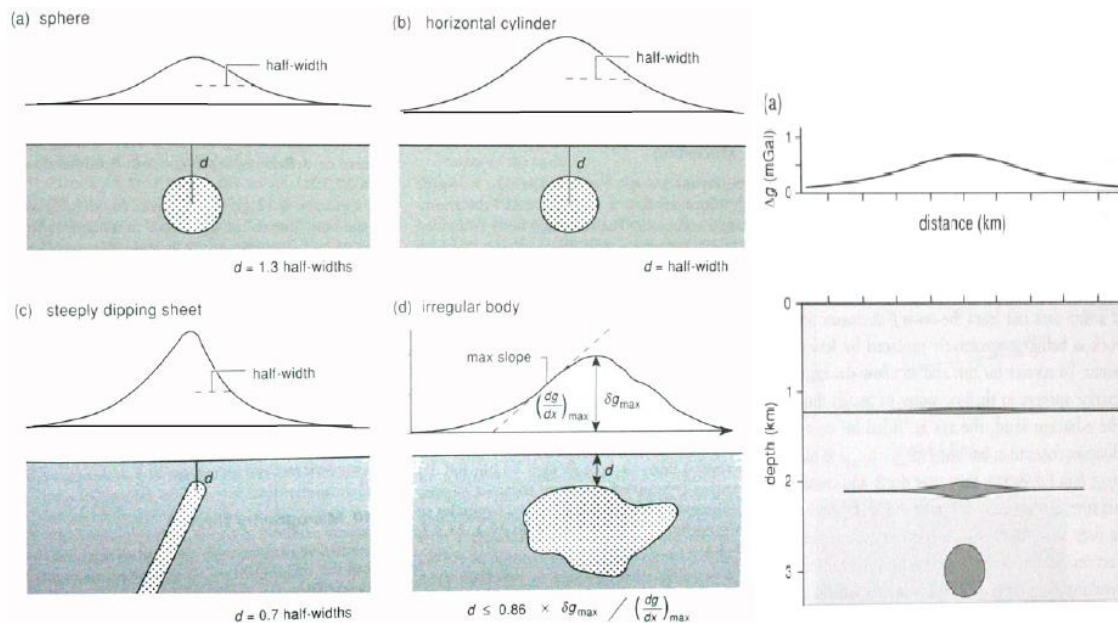


#### Hondar anomaliaren erdi-zabalera metodoa

Anomaliaren erdi-zabalera ( $x_{1/2}$ ) gehiegizko anomaliaren eta gehiegizko anomaliaren erdiaren arteko distantzia horizontala da. Masa guztia puntu batean kontzentratuta balego.

$$Z = \frac{1}{2} / ((4)^{1/3} - 1)^{1/2}$$

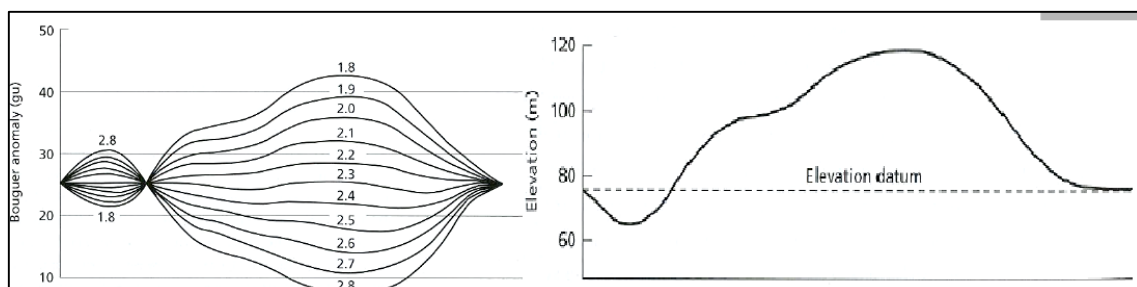
Geometria bakoitzak formula ezberdina izango du eta geometria desberdineko gorputzek profila grabimetriko berdina izan ahal dute. Profil bat hainbat erantzun.



**Nottletoren metodoa:** 1) lurrazalean agertzen diren arroken dentsitatearen batezbestekoa egin (Arroka egokiak hartu eta alterazioekin kontuz). 2) Zundaketetako arroken dentsitatea neurtu. 3) Nottletoren metodoa → Zertan datza?

Ezin daiteke edonon aplikatu, bakarrik dentsitate aldaketarik ez dagoen tokietan.

Dentsitate ezberdinekin profil topografiko desberdinak egiten dira eta hauetatik lauena hartzen da (dentsitate berdina izanez gero profil laua ematen duelako).



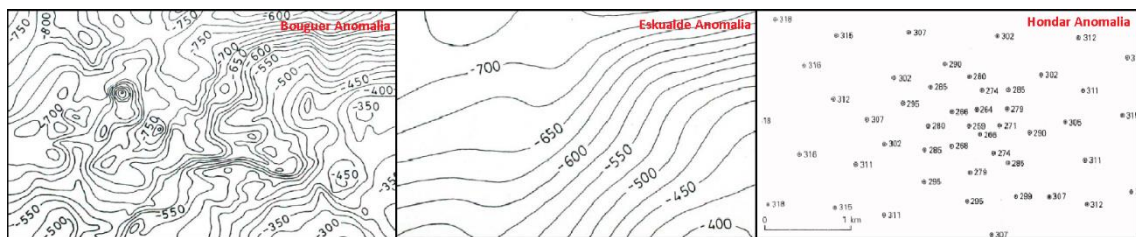
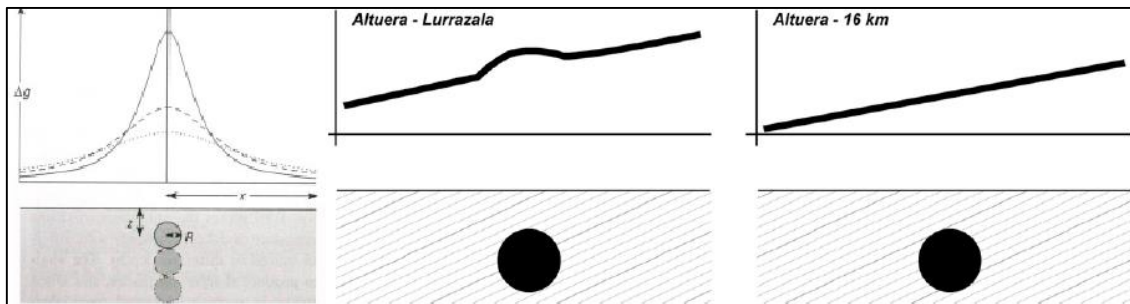
Profil topografiko batetik ateratzen diren grabitate anomalia guztiei ikusitako zuzenketa guztiak egin beharko dizkigu “Bouguer anomalia” → dentsitatearen araberako diren zuzenketa guztiei ausazko dentsitate balioak eman. Bouguer anomalia profil lauenak emango digu dentsitatearen batez besteko balioa.

$$BA = g_n - g_0 \text{ [Zuzenketak]} \rightarrow BZ (h, \rho)$$

### 1.5. Bouguer, Eskualde, Hondar Anomalien Mapen Erabilera

Sakonean azaleratzen diren gorputzek dagokien 3Dri buruzko informazioa ematen du. Abiapuntu bezala, oro har, Bouguer Anomalia mapa izango dugu, bi mekanismo.

**1) Estrapolazio bertikalaren modulua:** Altuera finko batekoa Bouguer Anomalia Mapak izango dituen geometrian oinarritua. Ikusi bezala zenbat eta altuago izan esferak osatutako anomalia ordua eta txikiagoa da ateratako grabitate anomaliaren profila. Hortaz, altueran ateratako Bouguer Anomalia Mapa Eskualde Maparekin bat dator.



**2) Begizko egokitzapen metodoa:** Eskualde anomaliaren determinazioa erraza denean aplikatu daitekeen metodoa. Grabitate anomaliaren balio bereko lerroak.

