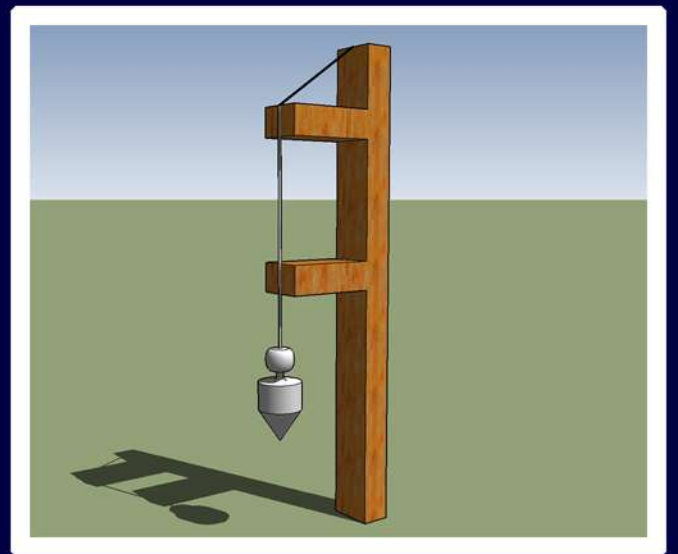


# Verticalidad vs horizontalidad

Enrique Aparicio Arias



Publicaciones de ApEA nº 40

# **VERTICALIDAD VS HORIZONTALIDAD**

**Enrique Aparicio Arias**

**Publicaciones de ApEA**

Asociación para la Enseñanza de la Astronomía

Nº 40 (Secundaria) – Diciembre de 2020

Publicaciones de ApEA nº 40

Asociación para la Enseñanza de la Astronomía

© Texto, fotos: Enrique Aparicio Arias, Wikipedia Commons

Dibujo de Portada: Tanguy

Foto de Portada: Nebulosa del Alma, Autor: Mario Martínez, de la Asociación universitaria de Astronomía de la Universidad de Alicante Astroingeo, Ciudad de las Estrellas.

Comité de Redacción:

Ederlinda Viñuales, Antonio Arribas y Ricardo Moreno

Dirección:

Ricardo Moreno (Vocal Editor de Publicaciones de ApEA)

rmluquero@gmail.com

ISBN: 978-84-942304-1-7



Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

---

## AUTOR

---

### Enrique Aparicio Arias



Es miembro de ApEA y profesor doctor de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante, en las especialidades de: Astronomía, Cartografía, Geodesia, Fotogrametría, Teledetección Satelital, Topografía y Enseñanza para el Profesorado de Secundaria. Su vida se ha desarrollado en la instrucción de la enseñanza/aprendizaje de la astronomía, realizando numerosos cursos reglados y no reglados, seminarios y talleres para diferentes niveles curriculares. Desde 1994 es presidente de la Asociación Universitaria de Astronomía de la Universidad de Alicante *Astroingeo Ciudad de las Estrellas*.

Pertenece a la Red sísmica de la Universidad de Alicante y al Grupo de investigación de diseño gráfico y tecnológico. Ha ideado y construido números artilugios, artefactos, maquetas y proyectos de carácter divulgativo. Además cuenta con un Museo evolutivo instrumental de astronomía, desde el gnomon hasta los GPS. Tiene varios libros editados, numerosos artículos en revistas y muchas colaboraciones divulgativas en radio, prensa y televisión.

# ÍNDICE

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS .....                                          | 5  |
| A MODO DE INTRODUCCIÓN .....                                            | 6  |
| ¿Hacia dónde se dirige la vertical de lugar, en un agujero negro? ....  | 6  |
| ¿Quién manda aquí? .....                                                | 6  |
| ¿La vertical o la horizontal? .....                                     | 7  |
| EN LA TIERRA.....                                                       | 8  |
| El binomio indisoluble (V/H) en nuestro entorno .....                   | 8  |
| Construcciones megalíticas, zigurat, templos, monumentos, etc. ....     | 9  |
| Bajada del eje del mundo y trazado de la meridiana .....                | 12 |
| El Nilómetro .....                                                      | 15 |
| El <i>Lo pan</i> = la brújula china .....                               | 19 |
| <i>Primer Microtaller Astropeques:</i> .....                            | 23 |
| Orientación y replanteo de una casa a tu gusto .....                    | 23 |
| La tecnología avanzaba (del Renacimiento a la Ilustración) .....        | 24 |
| Separación instrumental de la Tierra al Cielo .....                     | 25 |
| Tipos de niveles para materializar el plano horizontal .....            | 27 |
| Aclaratoria sobre planos y mapas .....                                  | 28 |
| <i>Segundo Microtaller Astropeques:</i> .....                           | 29 |
| Alineaciones verticales y horizontales desde casa.....                  | 29 |
| EN EL MAR.....                                                          | 30 |
| Expresión de la verticalidad y la horizontalidad en la navegación ..... | 30 |
| Sobre el agua (horizontal) se elevan las verticales simbólicas .....    | 33 |
| Expresión de la V/H en Topografía, Geodesia y Cartografía .....         | 34 |
| EN EL CIELO .....                                                       | 37 |
| Cómo se expresa la verticalidad y la horizontalidad en el cielo .....   | 37 |
| Expresividad (V/H) en tres ejemplos fundamentales de física .....       | 40 |
| <i>Tercer Micro Taller Astropeques: Cosmografía de ApEA</i> .....       | 42 |
| Verticalidad vs Horizontalidad en la aeronáutica espacial .....         | 45 |
| Repaso histórico .....                                                  | 45 |
| FUENTES BIBLIOGRÁFICAS .....                                            | 47 |

## PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS

Con este trabajo puntual se pretende un acercamiento histórico a la importancia que tiene la verticalidad y la horizontalidad a lo largo de nuestras vidas. Se hace un barrido histórico, ilustrado por Tierra, Mar y Cielo.

Quiero agradecer al equipo de Publicaciones de ApEA, por animarme a escribir este trabajo y aportar ideas. Siempre me cuesta arrancar, pero gracias al confinamiento, he dispuesto algo de tiempo extra. Quisiera dedicar este trabajo a todos los fallecidos por el indeseable coronavirus19, y a sus familiares, por la impotencia que han sentido de no poder despedirse de los suyos.



Me he acordado de un gran poeta sevillano, referente del romanticismo, que murió muy joven de otra enfermedad. Podríamos decir que logró tocar las estrellas con su poesía sentimental y transcendente. En su recuerdo y en el de todos, transcribo la rima LXI del poeta Gustavo Adolfo Bécquer (1836- 1870).

*Es muy triste morir joven, y no contar con una sola lágrima de mujer*

Gustavo Adolfo Bécquer

Al ver mis horas de fiebre  
e insomnio lentas pasar,  
a la orilla de mi lecho,  
¿quién se sentará?

Cuando la campana suene  
(si suena en mi funeral)  
una oración, al oírla,  
¿quién murmurará?

Cuando la trémula mano  
tienda, próximo a expirar,  
buscando una mano amiga,  
¿quién la estrechará?

Cuando mis pálidos restos  
oprima la tierra ya,  
sobre la olvidada fosa,  
¿quién vendrá a llorar?

Cuando la muerte vidrie  
de mis ojos el cristal,  
mis párpados aún abiertos,  
¿quién los cerrará?

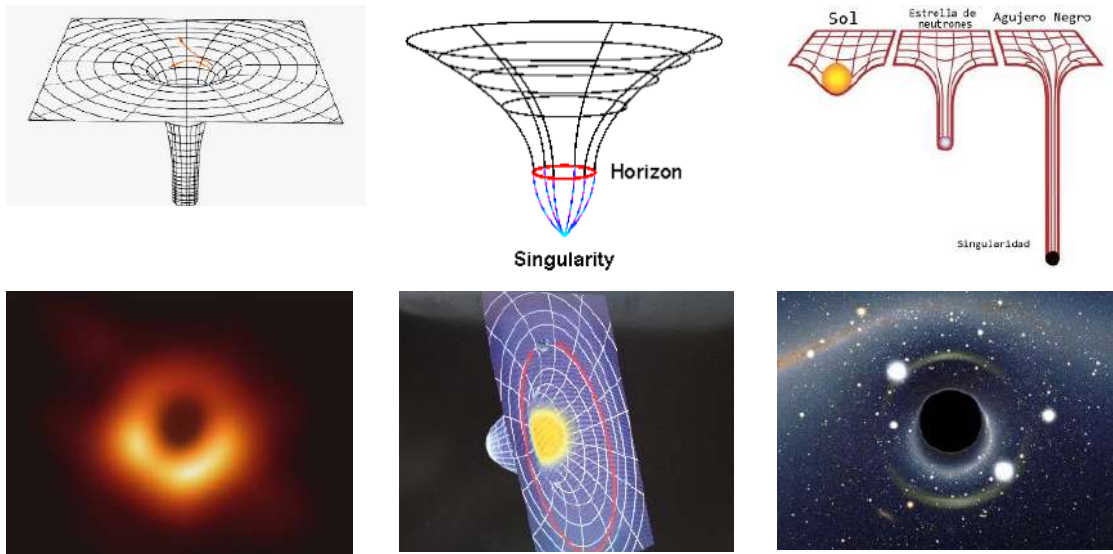
¿Quién, en fin, al otro día,  
cuando el sol vuelva a brillar,  
de que pasé por el mundo  
quién se acordará?

A la memoria de todos los fallecidos por el coronavirus-19

## A MODO DE INTRODUCCIÓN

### ¿Hacia dónde se dirige la vertical de lugar en un agujero negro?

Con esta pregunta a los asistentes (miembros de ApEA) en el XIII encuentro para la Enseñanza de la Astronomía, celebrada en julio 2019 en Úbeda, terminaba mi ponencia sobre la Verticalidad Versus Horizontalidad, en adelante (V/H), intentando hacer una pequeña reflexión sobre la existencia y manifestación presencial en cualquier parte del universo de la (V/H). Aquí tenemos seis imágenes introductorias al tema.



**Fig. 1, 2, 3, 4, 5 y 6.** Imágenes y estructuras geométricas sobre un agujero negro. Fuente Wikipedia. Es recomendable ver los siguientes YouTube

<https://www.youtube.com/watch?v=Do2A8626oBc&feature=youtu.be>

<https://www.youtube.com/watch?v=vGFBBkfuOZk&feature=youtu.be>

<https://www.youtube.com/watch?v=OuxLo-lrOss&feature=youtu.be>

### ¿Quién manda aquí?

Posiblemente todos los asistentes en Úbeda-2019 creo que llegaron en una primera aproximación (como si se tratara de juego cognitivo) a la misma conclusión, donde la vertical de lugar en un instante dado de ese tejido espacio/temporal del agujero negro, crearía su propio eje vertical en movimiento coincidiendo “teóricamente” con la intensidad mayor o menor de su monstruosa fuerza de la gravedad creada, dirigida hacia la singularidad del agujero negro.

Dicha fuerza gravitatoria crea ortogonalmente un campo inconmensurable de horizontes concéntricos, (horizontes de sucesos) al igual que sucede en la Tierra

con su gravedad, siendo ésta la fuerza causante del nacimiento de los dos planos (V/H) tan dependientes.

### ¿La vertical o la horizontal?

Podríamos plantearnos ¿qué fue antes, el plano horizontal que contiene una visual o línea horizontal o el plano vertical que contiene al eje imaginario de la vertical de lugar?

Al igual que sucede con la eterna pregunta ¿Qué fue primero, el huevo o la gallina? Sinceramente me inclino sin ápice de duda, por el huevo y posteriormente se haría la gallina, (al margen de las posibles controversias u opiniones); así pues, respecto a lo que nos ocupa hoy, os digo que es el eje vertical el atractivo gravitatorio terrestre de la gravedad el dominante, condicionando a otras fuerzas dinámicas externas, creando esos planos horizontales/es y verticales.

Estas cuestiones solo nos han servido como aperitivo para entender la importancia conceptual antes de hacer un barrido histórico procedimental sobre la (V/H).

Estos planos (vertical y horizontal), contienen sus respectivos ejes virtuales/teóricos fundamentales. El eje vertical imaginario ha dado al nacimiento de dos vocablos: el punto donde intercepta a la bóveda celeste encima de nosotros se llama **Cenit**, y se denota por (**Z**), y el punto opuesto 180º, donde el eje intercepta a la bóveda celeste debajo de nosotros, llamado **Nadir** (**Z'**).

Para mayor comprensión del tema, he desglosado el trabajo en tres apartados que se corresponden con la materialización del eje vertical y el horizontal (V/H), en la Tierra, en el Mar y, en el Cielo.

Además, he introducido (siguiendo el espíritu de ApEA) tres micro talleres por si alguien quiere aplicarlos, denominados “**Talleres Cosmográficos ApEA para Astropeques**”, ubicados al final de cada parte.

# EN LA TIERRA

## El binomio indisoluble (V/H) en nuestro entorno

A veces, las cosas sencillas que nos rodean pueden pasar desapercibidas e ignoradas por su simplicidad u obviedad básica, no generando ninguna idea que active otras neuronas más complejas en nuestro cerebro para llegar a comprender, en un golpe de vista, el trasfondo más elemental y de una gran utilidad y aplicación.

Así pues, a lo largo de la historia de nuestras vidas tenemos multitud de imágenes que representan ambos ejes, pero la mayoría de las personas no solemos prestarle mucha atención. No obstante, estoy casi seguro que los miembros de ApEA poseemos un filtro gracias al cual podemos ver: planos, ejes, líneas imaginarias, ángulos rectos, ejes ortogonales, ángulos inclinados, instrumentos de medición, calibraciones, precisiones, tolerancias, aplicaciones constructivas, aplicaciones astronómicas, aplicaciones geofísicas y/o geodésicas, cartográficas/topográficas, etc. Por ello, este matrimonio indisoluble (V/H) es el que abordaremos desde los tiempos neolíticos hasta nuestros días.

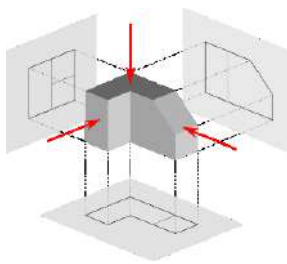
Aquí tenemos, algunos ejemplos de la intervención de la (V/H), en distintas disciplinas básicas como pueden ser la música, la escritura, la geometría, o la física.



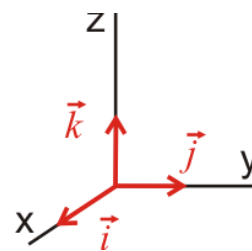
**Fig. 7.** Pentagrama horizontal con las notas verticales



**Fig. 8.** Alfabeto fenicio/sumerio compuesto de verticales y horizontales



**Fig. 9.** Geometría descriptiva con los planos proyectantes ortogonales



**Fig. 10.** Proyecciones ortogonales sistema triedro aplicado en física y matemáticas. Fuente Wikipedia

## Construcciones megalíticas, zigurat, templos, monumentos, etc.

En los pueblos y sociedades ancestrales de nuestros antepasados, dirigidos por emperadores, reyes, faraones, gurús, sacerdotes, augures, geómetras, astrólogos de turno, alarifes, agrimensores, navegantes, exploradores, maestros, matemáticos, geógrafos, militares, ingenieros, arquitectos, etc., han utilizado y aplicado cada uno en su campo este concepto (V/H), por su fácil empleo, tanto antes y ahora, en esas construcciones megalíticas, zigurats, pirámides, monumentos, arquitectónicos o civiles. Como podemos observar en las Fig. 11, 12, 13 y 14.



Fig.11. Observatorio astronómico ceremonial de rituales en los solsticios y equinoccios

**Nota:** compuesto de un círculo a través de crómlech verticales y horizontales.

Se encuentran en Stonehenge (Inglaterra) cerca del pueblo de Salisbury al oeste de Londres.



Fig.12. Zigurat sumerio - babilónico, de forma trapezoidal truncado, con observatorio astronómico en la cúspide. Era residencia de los sacerdotes astrólogos/astrónomos, en el origen de la astronomía.

**Nota:** A ellos, le debemos muchas cosas aplicadas en la astronomía actual, como el sistema sexagesimal, el alfabeto, las matemáticas, la rueda sumeria, eclipses (ciclo de saros), creación de la astrología/astronomía (la mala y la buena) creación del catastro (urbano y rural) [mediante la colocación de los Kudurru (piedra o mojón colocado verticalmente sobre el suelo para la identificación de la propiedad de su parcela o termino)], constelaciones zodiacales, calendarios lunares, la estadística, y sobre todo la creación de escuelas astronómicas / astrológicas gracias a la observación y anotaciones sistemática de los objetos celestes.

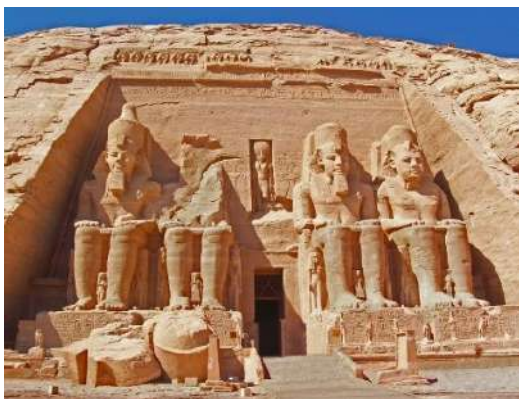


Fig.13. Templo hipogeo (excavados y tallados sobre roca) de Abu Simbel ubicado en Nubia (Egipto).



Fig. 14. Sacerdotes astronómicos/astrólogos egipcios

**Nota:** Hace constancia del uso instrumental artesano con gran habilidad y precisión por sus alarifes y sacerdotes astrónomos, para sus trazados verticales, planos inclinados y horizontales.

Es de resaltar la orientación del templo donde los rayos de luz recorren por la sala hipóstila hasta llegar e iluminar a tres de los cuatro dioses ubicados al fondo de la sala, dejando en la umbra al dios considerado del inframundo (Duat). Esto ocurría 61 días antes y después del solsticio de invierno.

**Nota:** una noche de trabajo en las azoteas, de los templos egipcios anotando el paso del objeto seleccionado por el meridiano superior. El instrumento utilizado era un trozo de madera (de longitud del codo sagrado real 29,4 cm que se cogía con la mano, donde iba enganchada una plomada egipcia, es evidente que la horizontalidad y la vertical tenía mucha importancia en la toma de datos para conocer la hora de paso del objeto estudiado y la altura del objeto sobre el plano del horizonte.

Salvando las distancias, es el mismo sistema que utilizarían los distintos astrónomos a lo largo de los años venideros para la elaboración de catálogos astrológicos/astronómicos. Entre ellos destaca el Almagesto de Claudio Ptolomeo (s. II).

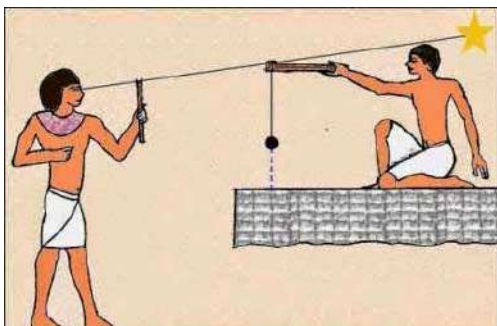
Abriendo un paréntesis en este trabajo, me he acordado de los astrónomos de la asociación ApEA en su 25º aniversario (febrero 2020), cuando visitamos el Observatorio Astronómico Nacional de Madrid utilizando el mismo sistema que los egipcios, pero ahora utilizando los instrumentos propios del siglo XX.



**Fig. 15.** Imágenes del Observatorio astronómico nacional, ubicado en Madrid **Fig. 16 y 17.** Instrumento astronómico denominado **círculo meridiano**

**Nota:** El círculo meridiano del observatorio de Madrid. (Fig. 16 y 17), servía para conocer los pasos de diferentes estrellas por el meridiano celeste superior y, obtener con mucha precisión el tiempo de rotación terrestre. Con ello se podía medir el tiempo sidéreo, la latitud y longitud, de forma similar a como lo hacían nuestros antepasados egipcios. El círculo meridiano básicamente estaba compuesto por una horizontal representada por el extremo de dos columnas de granito perfectamente alineadas y niveladas, que servirán para apoyar los brazos del círculo meridiano (telescopio refractor apropiado para tal fin). El telescopio se dirigía a través de una ventana en la cúpula, hacia la bóveda celeste, y se fijaba el tiempo de paso de las estrellas elegidas. Se medía también con bastante precisión las coordenadas altacimutales del objeto ( $A$ ,  $h$ ,  $t$ ) y ecuatoriales absolutos (Ascensión Recta y Declinación). Para más información, se recomienda ver el video del museo astronómico de Madrid [https://www.youtube.com/watch?v=xAqutSM\\_GJI](https://www.youtube.com/watch?v=xAqutSM_GJI) y el del museo del observatorio astronómico de Córdoba (Argentina). <https://www.youtube.com/watch?v=qNq4OHgAUC4>

Cerramos el paréntesis cultural y volvemos a Egipto, para seguir conociendo algunas cosas más de como trazaban la meridiana del lugar con sus instrumentos aparentemente toscos, pero de alto grado conceptual y práctico en sus observaciones astronómicas.



**Fig. 18.** Astrónomos geómetras egipcios alineando una estrella

En la Fig. 18 vemos a dos astrónomos geómetras egipcios alineando una estrella, mediante la utilización de dos instrumentos, el de la izquierda portaba el **Bay** (forma de Y griega) situado verticalmente, mientras que el otro sacerdote sostenía en la mano el **codo sagrado horizontal con plomada marcando un punto vertical**.

## Bajada del eje del mundo y trazado de la meridiana

La operación conocida como la bajada de los cielos a la tierra, era muy importante para la orientación perfecta de los grandes monumentos funerarios (pirámides) sobre los cuatro puntos cardinales que hoy conocemos. La operación se hacía antes de los equinoccios de primavera y de otoño (Fig. 19 y 20).

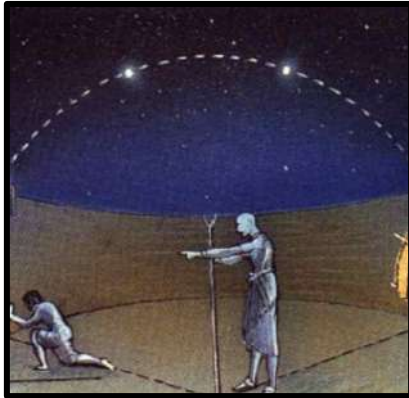


Fig. 19. Bajada del eje

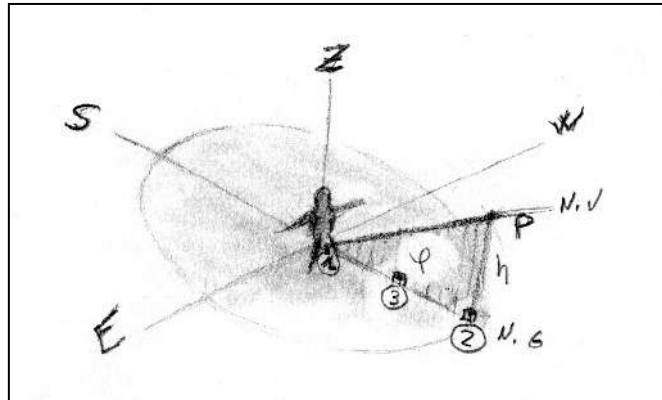


Fig. 20. Esquema de bajada del eje

Eran necesarios tres sacerdotes para conseguir una alineación perfecta. El eje del mundo contenía el Norte Verdadero (N.V) y había que bajarlo al suelo (Plano del horizonte) para replantear las dos direcciones principales (N-S) y (E-O).

La operación consistía en trabajar con un plano vertical que contuviese el Cenit y al Norte Verdadero. Lo dirigía el sacerdote principal en ese momento como si se tratase de un corte con un cuchillo, hasta replantear en el suelo la dirección principal N-S. Dicho plano vertical dirigido por el sacerdote principal debería pasar por el **Bay** que lo sujetaba otro sacerdote y además ser coincidente con el **hilo de la plomada** que lo tenía un tercer sacerdote. Cuando todo estaba alineado, se empezaba a dibujar en el suelo (replantear) con cal, materializando dicho corte vertical con el plano del horizonte del lugar, intersección que nos marcaría la **meridiana de lugar**. Los instrumentos eran toscos pero efectivos por la profesionalidad de los astrónomos geómetras. Al día siguiente comprobaban con el instrumento Merket (Fig. 21) el paso de la sombra más corta, trazando en ese momento otra línea de meridiana diurna que, debería coincidir aproximadamente con la meridiana nocturna (ésta es más precisa que la diurna). Esta operación se repetía varias semanas hasta dejarla definitiva.

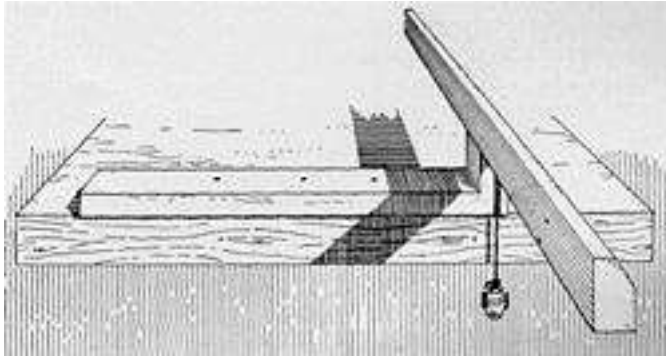


Fig. 21. Instrumento Merket

El instrumento denominado **Merket** marcaba las direcciones de los diferentes ortos y ocasos sobre el horizonte de lugar. También marcaba las sombras del sol, y era conocido que la sombra más corta se correspondía con la mitad del día (mediodía). Siempre se

ayudaban con relojes de arena (Fig. 44), inventados por los egipcios, que median las horas babilónicas (horas de sol por encima del horizonte, es decir, de orto a ocaso). Solo en los equinoccios su duración era de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Como el resto del año variaba, posteriormente nacieron las horas itálicas.

Además, en las noches, utilizaban otro sistema para garantizar que la meridiana de lugar estaba bien trazada: debía coincidir con la mediatriz que dibujaban las estrellas circumpolares sobre el muro semicircular construido (tipo brocales). Hacían coincidir varias estrellas circumpolares con la mediatriz trazada (sistema muy preciso), para posteriormente replantear la línea, debiendo ser coincidente con el sistema de bajada del eje del mundo al suelo.

La comprobación de la meridiana trazada (eje Norte – Sur) tenía que esperar a la llegada de cualquiera de los equinoccios, ya que este eje Este-Oeste se puede determinar los días de los equinoccios (21 junio/23 setiembre). Los días anteriores solían replantear un eje perpendicular a la meridiana usando el triángulo egipcio 3-4-5). Trazaban a 90º a la derecha el cardinal Este y a 90º a la izquierda el Oeste, obteniendo así el otro eje importante E-O.

El día de los equinoccios el sol debería aparecer (orto) justo por el punto marcado como Este, y ponerse (ocaso) justo por el punto marcado como Oeste, si todo el trabajo anterior descrito se había realizado bien. En el caso de que esto no ocurriese, el replanteo no se había realizado correctamente, y suponía tener que repetir el proceso y esperar al siguiente equinoccio. Estos procedimientos y herramientas se pueden ver en las Fig. 22, 23, 24, 25 y 26.

Estos tres sistemas de replantear la meridiana de lugar eran sumamente importantes para garantizar la perfecta orientación de las pirámides que todavía se puede comprobar con el Google Earth.

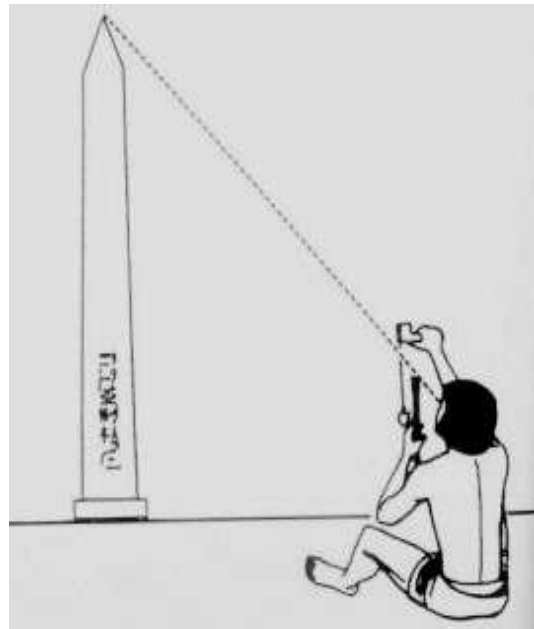


**Fig. 22.** Alarifes (maestros constructores, canteros egipcios y musulmanes) trabajando los sillares egipcios.

**Nota:** comprobaban las caras y aristas, la verticalidad y horizontalidad mediante instrumentos como la plomada de paramento o la escuadra con plomada, que cumplen los ángulos rectos. También con la [L] instrumento en ángulo recto, para conseguir que el sillar hexaédrico tuviese las caras perfectamente horizontales a sus aristas verticales.



**Fig. 23.** Instrumento egipcio que servía para comprobar la verticalidad de los paramentos en las construcciones egipcias



**Fig. 24.** utilización de un codo para comprobar la verticalidad y la altura de un obelisco

**Nota:** Esta práctica da lugar a la gnomónica, disciplina que estudia las sombras producidas por un gnomon vertical sobre el plano horizontal y, que llevaría al estudio y construcción de relojes solares. Así lo hizo el sabio Eratóstenes (s. III a.C.) que se construyó su gnomon de una altura de un codo sagrado cuya longitud era de 29,4 cm para alcanzar la máxima precisión en la determinación del radio terrestre, consiguiendo un error relativo menor del dos por ciento. También se ha usado la Gnomónica para la construcción de mapas como hizo otro gran sabio Tales de Mileto (s. V a.C.). También se suele usar en cartografía actualmente la proyección altacimutal gnomónica de uso en las cartas de navegación y cartas de aeronáutica.



**Fig. 25.** Plomada muy antigua egipcia de forma casi esférica



**Fig. 26.** Escuadra muy antigua utilizada por los alarifes egipcios

**Nota:** Después se quedaría como el símbolo de los arquitectos. Ha sido muy utilizada en el aprendizaje del dibujo donde solía acompañarle su inseparable cartabón, además servía para la construcción del triángulo egipcio 3\_4\_5.

Video YouTube de gnomónica relojes

<https://www.youtube.com/watch?v=ir075PaPhgM>

Video de proyecciones cartográficas en general (UNED 1993)

<https://www.youtube.com/watch?v=Pt3yY7LbKe8>

## El Nilómetro

Conociendo la altura del agua (nivel horizontal) podrían exigir a los agricultores y ganaderos el impuesto correspondiente, ya que sus tierras habían sido alcanzadas con el limo del río Nilo y sería más productiva su cosecha. Acababan los egipcios de crear el catastro urbano: en este caso, un censo de los impuestos en agricultura/ganadería.

El Nilómetro más importante se encuentra en **Elefantina**. Cuenta el geógrafo Plinio el Viejo (79 d.C.) que cuando la altura del agua era inferior a doce codos suponía que no alcanzaba a la mayoría de los terrenos y por consecuencia ese año habría hambruna: con trece codos habría escasez; catorce traía alegría, con quince seguridades, con dieciséis era gozo y placer, y más de veinte era desastre, ya que inundaba las viviendas y chozas de los campesinos. Para evitarlo, hicieron una red de canales y acequias de riego para reconducir y aprovechar el agua. En las Fig. 27 y 28 se puede ver un ejemplo de medidores.



**Fig. 27.** Nilómetro, instrumento egipcio que servía para medir las crecidas del río Nilo

**Nota:** Era un grandioso instrumento de la envergadura de un edificio que se colocaba insertado en el propio río Nilo, para que sus aguas entrasen dentro del edificio y dejara las marcas de la altura de las aguas en diversos indicadores: peldaños de escaleras, marcas en columnas y en la mira de altura de aguas. Esta última, posteriormente daría lugar a una mira estadimétrica (Fig. 28).



**Fig. 28.** Instrumento denominado Mira de aguas

**Nota:** Se trata de una pieza vertical con numerosas hendiduras espaciadas regularmente para conocer con precisión la altura de las aguas del río Nilo en una fecha concreta. En topografía clásica aún se suele utilizar dicha mira, denominada estadimétrica, para determinar distancias, en cálculos de desniveles y en un levantamiento topográfico, para la determinación de las coordenadas analíticas (X, Y, Z).

Los alarifes musulmanes o hispanoárabes, maestros y expertos en obras hidráulicas, dejaron testimonio en las diferentes huertas de España construyendo numerosas redes de captación, extracción y conducción de aguas, ya que para estos el agua era un elemento cultural muy importante, tanto que dejaron huellas sobre todo en el territorio andalusí y de levante. Hoy en día, esa importancia queda reflejada por la existencia y regulación de dichas canalizaciones y su uso mediante el tribunal de las aguas (aun hoy existente en Valencia).

Pero antes de la invasión musulmana, los romanos para trazar la (V/H) en sus templos y realizar sus canalizaciones de agua construyeron dos instrumentos muy sencillos que son la Groma y el Corobate.

La **Groma** era un instrumento tosco y muy bajo en precisión que servía para los trazados de perpendiculares y construcciones de los castros. Se pueden ver en las Fig. 29 y 30.

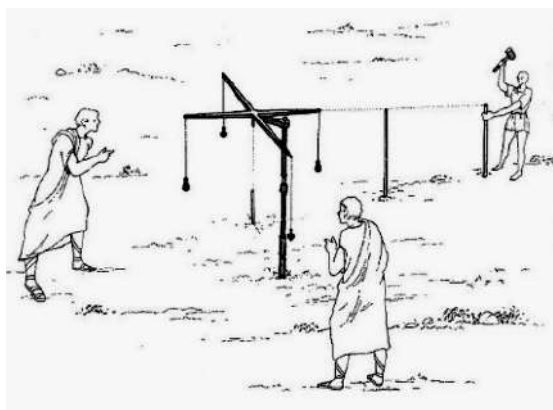


Fig. 29 y 30. Representaciones de la Groma

En la Fig. 31 tenemos el instrumento del **Corobate**. Era una mejora de la Groma y hacia la función de nivelar un plano horizontal (H). Este instrumento de madera tenía un pie solido que marcaba la vertical y para garantizar las visuales perpendiculares llevaba un soporte en forma de (H) que en sus extremos

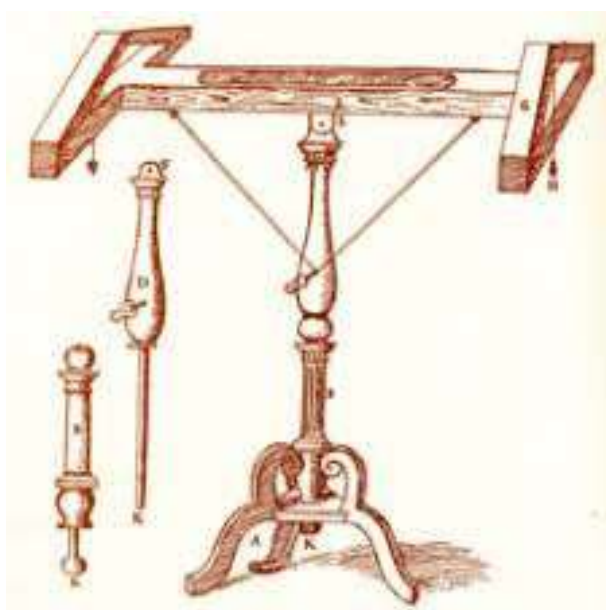


Fig. 31. Instrumento del Corobate

terminaba en un triángulo del que pendía una plomada. El soporte horizontal que unía los extremos contenía una hendidura rebajada para ser llenada por el agua y trazar las visuales horizontales y perpendiculares al eje del soporte. También se usó en la extracción y control en la mina de oro de las Médulas, en el trazado de visuales con pendientes mediante el uso de tablillas y antorchas en la noche, para poder trazar las cuatro direcciones fundamentales.

En el museo de Las Médulas en el Bierzo (Bergidum) se encuentra una reconstrucción de un Corobate.

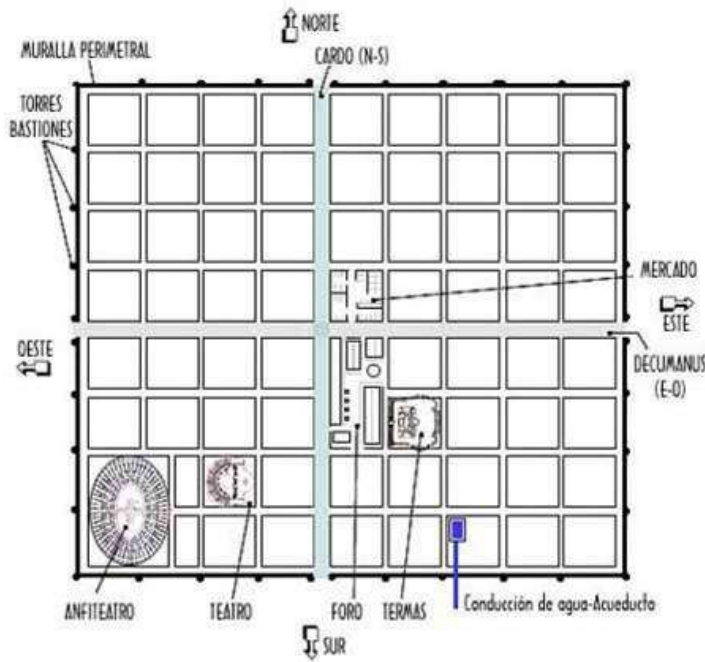


Fig. 32. Castro romano

**Nota:** Los augures y agromensores romanos, enseñados por los geómetras egipcios, aprendieron a replantear perfectamente las dos direcciones fundamentales en el plano del horizonte. Ellos llamaron **Cardus Máximus** a la meridiana de lugar (N.V. - S.V), y a la dirección perpendicular (Este - Oeste) la llamaron **Decumanus Máximus**.

Los romanos en su expansión imperial por el Mediterráneo transmiten la palabra Cardo a los pueblos conquistados dando origen a los puntos cardinales (Cardinales) que conocemos actualmente, y que son las direcciones principales sobre nuestro horizonte o plano de lugar.

Un ejemplo fueron los castros romanos (Fig. 32). Eran campamentos militares de forma cuadrada, donde lo primero que se hacía era replantear los dos ejes principales, en cuya intersección colocaban el cuartel general. Hoy en día hay muchos restos arqueológicos de ciudades que conservan las calzadas de estos dos ejes, por ejemplo en la ciudad de Apamea (Siria).

Otro ejemplo que podemos encontrar hoy son los acueductos romanos, (Fig.

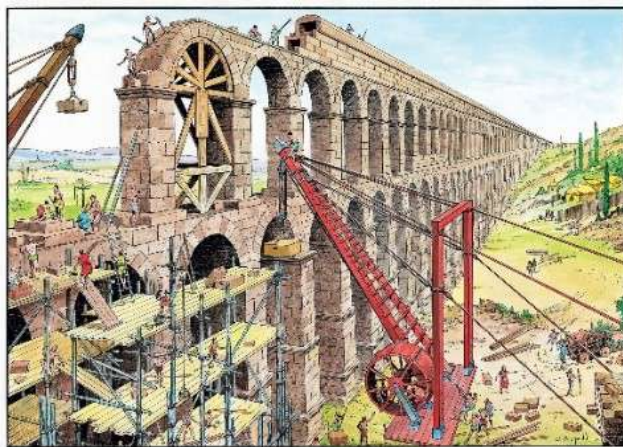


Fig. 33. Construcción de acueducto romano

33). Los romanos fueron grandes ingenieros y legisladores pero malos astrónomos. Hicieron muy bien las grandes obras hidráulicas, como fueron las canalizaciones de agua, aéreas o subterráneas. Debían tener conocimientos matemáticos y geométricos para los trazados de largas distancias, pendientes y velocidades.

## El *Lo pan* = la brújula china

En 1160 a.C. de forma casual, nació el **Lo Pan**, un instrumento creado por un militar chino mientras descansaba junto al río al querer limpiarse sus botas metálicas de un material que se había adherido a ellas (y que las hacían muy pesadas), que eran pequeñas limaduras de ferrita.



Fig. 34. Instrumento Lo Pan

Mientras el militar se limpiaba las botas, se dio cuenta de que aquellos minúsculos elementos que se desprendían de las botas caían por casualidad sobre las hojas (mayormente nenúfares) que había en el río, y se orientaban hacia una misma dirección. Los peciolos de las hojas (o puntas) marcaban todos hacia la misma dirección, Norte – Sur (polos magnéticos) (Fig. 34).

Este fenómeno, causado por el campo magnético que rodea la Tierra, va a dar origen a un instrumento muy valioso e imprescindible para la orientación de los militares chinos. Posteriormente es usado en navegación y en la construcción de templos o incluso para la colocación de las direcciones fundamentales a la hora de replantar una parcela de un nuevo edificio.



Fig. 35. Carretilla de orientación.

Como ejemplo de orientación militar, en los orígenes del Lo Pan, en las batallas, los chinos inventaron y desarrollaron las carretillas de orientación (Fig. 35). Estos elementos móviles, en su interior contenían un recipiente (barreño) que cuando estaba en reposo el agua buscaba la horizontalidad. Una vez estaba el agua horizontal se dejaba el *Lo Pan* y se observaba hacia donde se dirigían los peciolos, marcado así la dirección a seguir y un referente en las montañas

que les mostrase el camino de regreso a Pekín sin caer en las manos del ejército enemigo. Gracias a esta herramienta muchos soldados pudieron regresar a sus casas, ya que antes de su invención era muy usual perderse en territorio enemigo o tardar mucho más tiempo en llegar a sus hogares.



Fig. 36. Incorporación de direcciones a  
*Lo Pan*

En la Fig. 36 se puede ver cómo se incorporó al instrumento *Lo Pan* un círculo con 32 direcciones, que posteriormente daría como resultado la rosa de los vientos que hoy conocemos.

En la Fig. 37 se ve al geomántico o fengshuista de turno, mirando el instrumento *Lo Pan* colocado sobre una silla cruzada de madera, marcando la dirección indicada y, a pasos, replanteando la dirección de la nueva vivienda, solo con dos instrumentos: un *Lo Pan* y unos

jalones. Así quedaba la parcela orientada según la tradición china, en consonancia con la naturaleza del entorno (Tierra) y en armonía con los cielos.

En el siglo XIII, la familia de los Polo, comerciantes genoveses, abrió la ruta de la seda entre los dos países. Marco Polo, trajo una **cajita de orientación** (regalo del emperador Kublai Kan, en agradecimiento de su visita a Pekín. Esa cajita pequeña era un *Lo Pan*. La traducción de **cajita pequeña** al italiano es “**bussola**”, y este vocablo dio paso en Europa a **brújula** o calamita. Este instrumento es muy usado a lo largo de los siglos por su sencillez por los comerciantes, exploradores, navegantes, militares, astrónomos, arquitectos, ingenieros, geómetras, cartógrafos, topógrafos, etc.



Fig. 37. Replanteando una  
vivienda con el *Lo Pan*

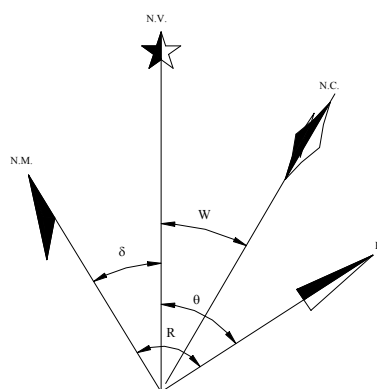


Fig. 38. Caja de brújula china

En la derecha de la Fig. 38, aparece la **cajita de la brújula china**, colocada sobre una maqueta del propio autor, conmemorando el paso de la línea ágena por el meridiano celeste superior en la Universidad de Alicante. En este momento y ese lugar, la declinación magnética es  $\delta = \text{cero}$ , coincidiendo el Norte Verdadero (NV) con el Norte Magnético (NM). Cuando no coinciden, el NM puede estar al Oeste o al Este

del NV, formando cierto ángulo que va decreciendo o aumentando según latitud y longitud de lugar (Fig. 39).

Los artesanos genoveses mejoraron la brújula y la adaptaron colocando una rosa de los vientos (Fig. 40) sobre un cuenco de piedra caliza para su protección.



**Fig. 39.** Los tres nortes con sus ángulos internos,  
El N. Verdadero, el Norte Magnético y el N.  
Cuadrícula



**Fig. 40.** Adaptación genovesa de la brújula

Posteriormente en el siglo XVI el médico italiano, astrónomo y matemático Gerolano Cardano consigue que la aguja magnética gire libremente y se mantenga siempre horizontal ideando el sistema cardán (Fig. 41).



**Fig. 41.** Brújula basada en el  
sistema de Cardano

Así pues, los navegantes contaban con conocimientos cosmográficos del cielo (cartografía celeste), conocimientos de interpretación y construcción de las cartas marinas y uso de los instrumentos mencionados, a los que añadimos ahora la aguja de marear (Fig. 42), que era una brújula protegida para la lluvia, que llevaba una cajita con una vela para poder comprobar los rumbos o demarcaciones en la noche.

También era importante conocer el tiempo empleado entre puerto y puerto (coordenada Longitud) y para ello utilizaban la corredera marítima (Fig. 43), que media la velocidad del barco (nudos) y la ampolleta o reloj de arena (Fig. 44), que era un contador del tiempo.



**Fig. 42.** Aguja de marear



**Fig. 43.** Corredera de marina



**Fig. 44.** Ampolleta

Con todo ello, se empezaron a realizar los mapas portulanos (Fig. 45) que mejoraron la cartografía rudimentaria existente al añadir direcciones angulares y derroteros. Más adelante llegó un sistema reticular parecido a la UTM de hoy (proyección analítica cilíndrica transversa, de Gerard Mercator, 1599). Los chinos



Fig. 45. Mapas portulanos

tomaban las longitudes mediante los eclipses, y su cartografía era más fiable que la europea.

Hasta la llegada del cronómetro de Harrison, en el siglo XVIII, no se empezó a mejorar la coordenada Longitud, lo que supuso un salto cualitativo en la elaboración de los mapas terrestres y marinos.

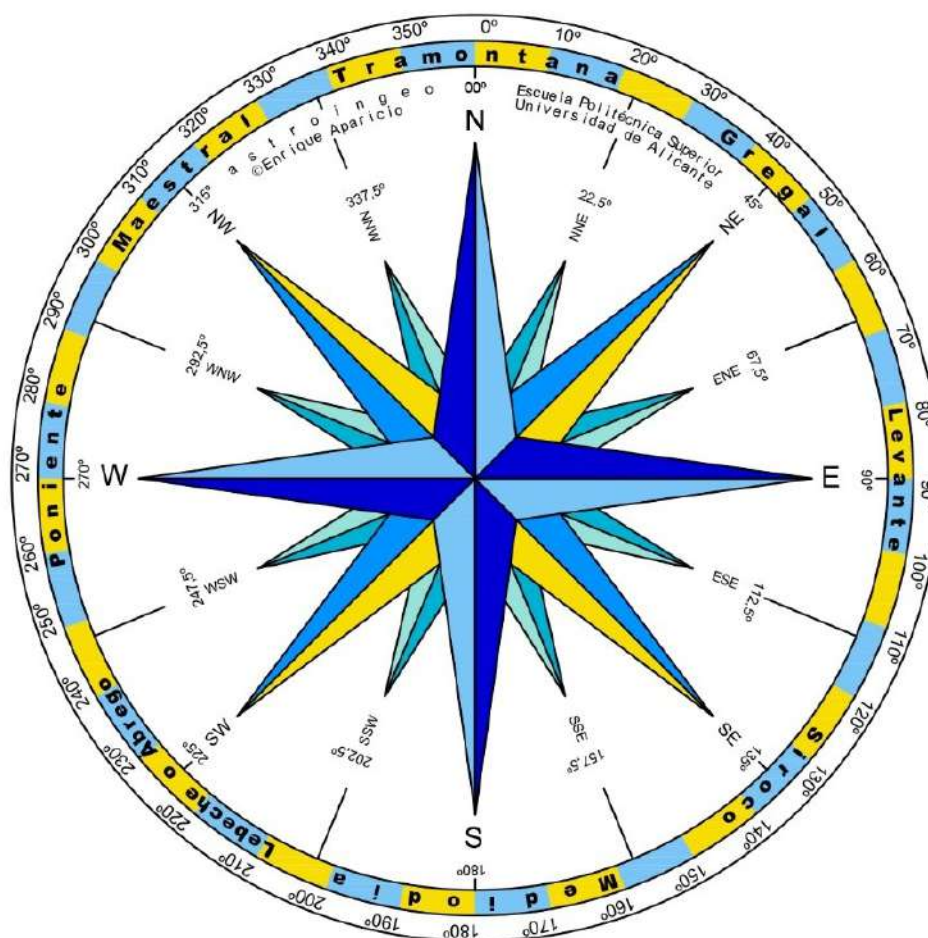
## **Primer Microtaller Astropeques:** **Orientación y replanteo de una casa a tu gusto**

En primer lugar, para familiarizarlos con todo lo que hemos comentado anteriormente y debido a su sencillez, empezaríamos creando el *Lo Pan*.

En segundo lugar, le adaptamos una rosa de los vientos. Posteriormente, en el patio del colegio, con tiza y midiendo con pasos, marcamos la mejor orientación de nuestra vivienda.

En tercer lugar, se comprobará, según la fecha, la idoneidad de la orientación de la vivienda, viendo los rayos del sol y su altura en las cuatro estaciones, los vientos dominantes, marcando a la vez las direcciones (rumbos) de las fachadas de nuestra casa.

Y en último lugar, se dimensionará la planta de la casa, a pasos o con ayuda de una cinta métrica, y auxiliándonos del triángulo egipcio para los trazados ortogonales



**Fig. 46.** Rosa de los vientos graduada en cuartas, del propio autor.  
Hay que recortarla y pegarla en un CD viejo.

## La tecnología avanzaba (del Renacimiento a la Ilustración)

Con la aguja de marear, con el sistema cardan y con la rosa de los vientos, ya se podían medir muy bien los ángulos horizontales, bien sean rumbos o acimuts (Fig. 47). Después se fueron creando otros instrumentos para tales fines, siempre apoyados sobre trípodes de madera y metal que terminaban en una plataforma para colocar el instrumento y eliminar posibles movimientos.



Fig. 47. Taquímetro mecánico S. XVII



Fig. 48. Taquímetro mecánico S. XVIII

Posteriormente, en el instrumento de la Fig.47, sobre la caja que contenía el limbo horizontal con la rosa de los vientos se le añadió un semicírculo graduado, un nivel esférico y un catalejo ideado por el óptico holandés Hans Lieppersshy en el s. XVIII. Esta construcción se realizó para poder medir los ángulos verticales, de elevación o de depresión, respecto a la vertical ( $0^\circ$ ), que se encontraba cuando el catalejo marcaba el plano horizontal (de lugar de observación) cuando el nivel esférico estaba calado. En una evolución del instrumento, se le añadió otro nivel tubular para mejorar el plano horizontal (Fig. 48) y además se completó colocando el limbo vertical en un lateral.

Estos instrumentos obligaban a crear un plano horizontal, que se hacía con los niveles incorporados. Ese plano era perpendicular al eje vertical de lugar, que se materializaba con la plomada de hilo que pendía de la base inferior de la meseta del trípode. Marcaba la dirección de la gravedad sobre el punto elegido.

## Separación instrumental de la Tierra al Cielo

Galileo Galilei en el siglo XVI, se va a inspirar en el catalejo del holandés Hans y en la existencia de otros instrumentos de uso terrestre, para hacer lo que nadie había hecho: escrudiñar el firmamento y medir lo que contemplaba en el cielo (Fig. 49 y 50). Este acto dio origen a un catalejo refractor, apoyado en un trípode con soporte altacimutal obteniendo así giros libres en horizontal y vertical. Con el paso del tiempo se irían incorporando los limbos horizontales y verticales, obteniendo verdaderos telescopios bien refractores y reflectores con diversas monturas altacimutales, newtonianos, o tipo Cassegrain Massukov. Además, con los grandes trabajos en los siglos posteriores por Cassini, Newton, Hevelius, Messier, hermanos Herschel (Caroline y William) y Flammarion entre otros, pusieron la base de la diversidad de telescopios para aficionados y profesionales.



**Fig. 50.** Catalejo apoyado en trípode

Por ello, en la actualidad, como cualquier aficionado a la astronomía, debemos usar algunos conceptos ya explicados. Por ejemplo, en la Fig. 51 vemos el proceso e importancia de hacer bien el plano horizontal sobre la base del trípode, con el calado de la burbuja de un nivel de obra (Fig. 51) o de otros



**Fig. 51.** Realizando la puesta en estación del telescopio con nivel de obra.



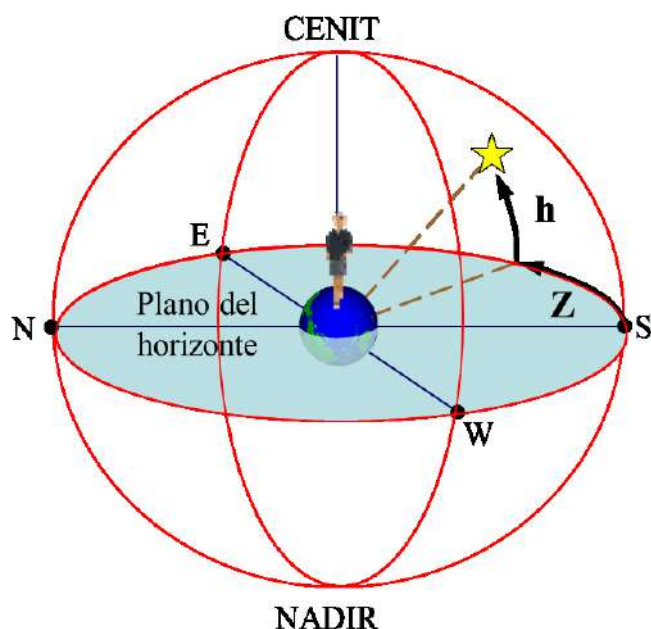
**Fig. 52.** Calado de la burbuja del nivel en base trípode



**Fig. 53.** Nivel ojo de buey

menos precisos (Fig. 52 y 53), situados sobre la meseta del trípode. La precisión del plano horizontal condicionará la buena puesta en estación del telescopio.

En Topografía, Geofísica, Geodesia con satélites o en Topografía astronómica, antes de iniciar cualquier medición o toma de datos angulares y distancias con cualquier instrumento, es preciso realizar la puesta en estación del aparato, que requiere actuaciones previas a veces laboriosas y meticulosas.



**Fig. 54.** Esquema de la posición Nadir y Cenit

de la plomada hacia el centro de la Tierra, y continuamos dicho eje, cortará a la bóveda celeste en otro punto que se denominaría Nadir (punto opuesto al Cenit), y que en astronomía se denota como ( $Z'$ ) (Fig. 54). Perpendicular a este eje vertical se encuentra el plano horizontal de nuestro horizonte.

Nadir, bonita palabra, que da nombre a la revista de astronomía de ApEA.

La puesta en estación consiste en dejar totalmente horizontal la meseta donde se sustenta el aparato, mediante los calados de los dos niveles: el esférico y el horizontal. Es entonces cuando se puede decir que el punto donde se ha estacionado coincide con el eje de la vertical de lugar (dirección de la gravedad) y que dicho eje imaginario toca a la bóveda celeste en un punto llamado Cenit, que se denota por ( $Z$ ). Si prolongamos por la dirección

## Tipos de niveles para materializar el plano horizontal

Para que un plano sea horizontal (Fig. 55) y perpendicular por tanto a la vertical, contamos con dos tipos de niveles: uno es de primera aproximación, denominado esférico y otro es tórico o tubular, de mayor precisión que el esférico.

El primero se encuentra (Fig.60) sobre los tornillos nivelantes. Se trata de un pequeño sector esférico, cuya sensibilidad es menor que los tóricos o tubulares, del orden de 2 a 3 segundos de arco, pues su radio es menor (Fig. 55).

El segundo nivel es el tórico. Con un radio mayor, su burbuja es de mayor sensibilidad. Existe una fórmula que relaciona la sensibilidad y el radio (Fig. 57). Cuanto más grande sea el radio, el nivel tiene más sensibilidad. Cuando se encuentran calados los dos niveles, el instrumento, al girar sobre sí, describe un plano horizontal, y si es láser, puede visualizarse a su alrededor. Solo entonces, la plomada (Fig. 56) coincide con la vertical en el punto en dirección dada por la gravedad.

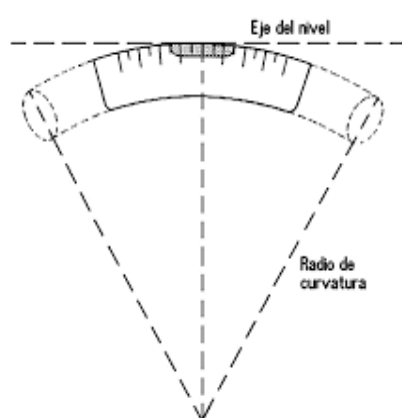


Fig. 55. Eje de nivel tórico



Fig. 56. Plomada.

$$S'' = 2mm/R \times 206265''$$

Fig. 57. Fórmula que mide la sensibilidad de nivel tórico



Fig. 58. Nivel tubular o tórico

Vemos algunas imágenes de aparatos topográficos, que proceden de los apuntes de topografía del autor. En ellas se ven los diferentes tipos de niveles: el esférico y el tubular o tórico. En la Figura 58, el nivel tórico está perfectamente calado y el esférico no lo está, debido a que tiene algún error. En la Figura 59 ocurre al revés, es el esférico el que está calado y el tórico sin calar. En la Figura 60 están los dos calados.

En la Figura 61, el plano horizontal se visualiza en el entorno con un láser. Hago una nota aclaratoria que viene a colación sobre el plano horizontal en un punto cualquiera. Por la esfericidad de la Tierra, el plano horizontal no puede llegar a más de 8 km, que es donde se sitúa el horizonte. Si la distancia fuese mayor,

habría que considerar la esfericidad de la Tierra y entonces se obtendrían los mapas y no los planos. En edificación, las distancias se estrechan a decenas de metros (Fig. 61), y se trazan planos horizontales con niveles láser.



**Fig. 59.** Nivel esférico calado y el nivel tubular no



**Fig. 60.** Estación Total con los dos niveles



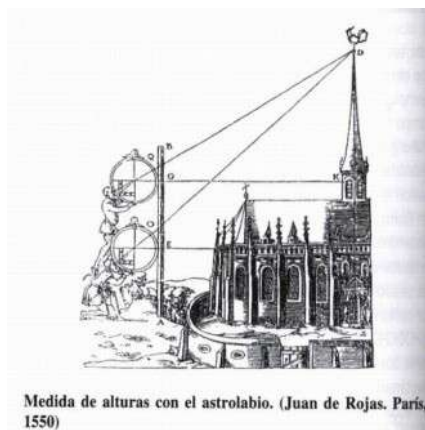
**Fig. 61.** Nivel láser

### Aclaratoria sobre planos y mapas

No es lo mismo planos que mapas, muy confundidos entre el público no especializado. Serán planos cuando podemos prescindir de la curvatura de la tierra, lo que ocurre cuando las distancias entre dos puntos es pequeña, y se considera coincidentes el plano horizontal con la esfera terrestre. Al contrario ocurre en el concepto de mapas, donde las dimensiones a considerar son muy grandes, y se debe tener en cuenta la curvatura terrestre. En estos casos, también influye la refracción, y se necesitan métodos de nivelación ex profeso, como el *punto medio*, para eliminar los errores producidos por la curvatura terrestre y refracción. Además, en la elaboración de los mapas hay que tener en cuenta el tipo de proyecciones cartográficas escogida, según el objetivo buscado, para intentar que sus anamorfosis (deformaciones angulares, lineales y superficiales) sean mínimas.

## Segundo Microtaller Astropeques: Alineaciones verticales y horizontales desde casa

Se trata de introducir a los peques en estos conceptos de verticales y horizontales en la edificación, comprobando su trazado y midiendo alturas.



**Fig. 62.** Comprobaciones con astrolabio de las alturas de la catedral de Notre Dame, París 1559

Para ello, dentro de nuestra casa o instituto nos auxiliamos con un marco de ventana. Nos separemos unos metros y guiñaremos un ojo (Fig. 64). Si queremos comprobar las verticales de un edificio exterior, iremos moviendo nuestra posición de izquierda a derecha o viceversa, comprobando que la arista vertical del marco de nuestra ventana va solapando al resto de aristas verticales del edificio lejano (Fig. 62).

Para la comprobación de las horizontales haremos lo mismo, pero ahora movemos la cabeza de arriba a abajo o viceversa, respecto al marco referencia de nuestra ventana, comprobando que las líneas horizontales de otros edificios o terrazas exteriores que vemos de frente (no en perspectiva) coinciden con nuestra horizontal.

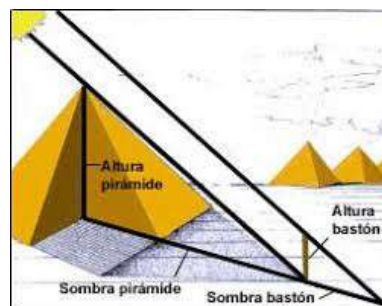
El siguiente paso sería usar otros instrumentos para medir la altura de un edificio y su posible desviación sobre la vertical.



**Fig. 63.** Torre inclinada de Pisa



**Fig. 64.** Guiñar un ojo para comprobar verticales y horizontales



**Fig. 65.** Medición de altura de pirámide

Podemos terminar el taller con el cálculo de la altura de edificios, utilizando sus sombras, al igual que hizo Tales de Mileto para medir la altura de la pirámide de Keops (Fig. 65). También podríamos calcular la altura de nuestro instituto o de algún edificio emblemático, utilizando varios instrumentos: las manos, la ballestilla, el cuadrante, el astrolabio, el inclinómetro, el medidor laser, etc.), comprobando las diferentes precisiones alcanzadas o las inclinaciones existentes (Fig. 63).

## EN EL MAR

### Expresión de la verticalidad y la horizontalidad en la navegación

En los siglos XIV, XV y XVI, hubo un gran avance en las exploraciones marítimas, donde grandes navegantes e intrépidos aventureros descubrieron nuevos mares y tierras desconocidas gracias a su dominio en la navegación de alta mar.



Fig. 66. Instrumentos de navegación

Muchos pilotos de esta época solo sabían navegar bordeando las costas, ya que poseían escasa formación en instrumentos de medición, cartografía estelar y manejo de cartas náuticas. A estos marineros menores se les llamaba de cabotaje, porque su navegación se ceñía a ir de cabo en cabo, recorriendo el golfo comprendido entre ellos. De ahí viene la expresión de “golfear o ser un golfo” queriéndonos decir que va a ir de golfo en golfo.

Para dejar de ser golfo, en el buen sentido de la palabra, los pilotos tenían que formarse en cosmografía, es decir, conocer la mecánica celeste: ubicación de las constelaciones, estrellas más brillante y planetas, movimientos aparentes del sol y la luna, saber trigonometría esférica y manejar los instrumentos apropiados para medir las alturas de un astro, conocer los derroteros, trazar rumbos e interpretar cartas náuticas. Además debían aprender conocimientos de construcción de barcos y de comercio.

Esta demanda de formación se pudo realizar gracias al auge de la navegación de los siglos XVI y XVII en España y, por ello se creó la casa de Contratación de Sevilla en 1503, para formar a numerosos marineros, que con el tiempo se llamarían cadetes guardas marinas a las órdenes de España. Recordamos que el primer director de la casa de contratación de Sevilla fue el gran piloto mayor Américo Vespucio, que viajó con Colón en dos expediciones, y le dio el nombre al continente de América, por su elaboración cartográfica de sus atlas y libros



Fig. 67. Habitáculo del cosmógrafo en un navío

del nuevo mundo, en perjuicio de Cristóbal Colón, responsable de la expedición al nuevo mundo.

Los instrumentos que se utilizaban eran: la aguja de marear, la ballestilla, el cuadrante sextante, el astrolabio, la corredera (cuerda de nudos), relojes de arena o ampolleta, el nocturlabio, compases náuticos, cartas marinas, tablas, efemérides, etc. En la Figura 67 vemos al cosmógrafo dentro de un habitáculo con su cuadrante, realizando las oportunas observaciones diarias.



Fig. 68. Determinación de coordenadas geográficas con instrumental antiguo.

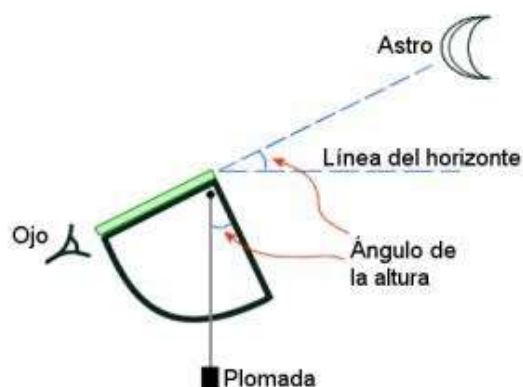


Fig. 69. Esquema de un cuadrante

**Nota:** Por los constantes vaivenes del barco, es difícil mantener el equilibrio en el mar y realizar las mediciones con los instrumentos y determinar las coordenadas geográficas (latitud y longitud) con ciertas garantías. Por eso la toma de datos se hacía diariamente (si el tiempo lo permitía), al mediodía, con repetidas tomas, siendo muy importante la vertical que marcaba la plomada sobre el instrumento del cuadrante (Fig. 69).

La foto de la Figura 68 me la hicieron en Tavira (Portugal), en una reunión de la European Association Astronomy Education (EAAE-2000), realizando un taller marino para la determinación de las coordenadas geográficas latitud y longitud con instrumental antiguo, en este caso, una ballestilla corta o local.

En la Fig. 69 tenemos un cuadrante muy usado en astronomía para la toma de ángulos de altura, pero su imprecisión era considerable, hasta que siglos más tarde llegó el sextante con filtros para eliminar la incómoda observación al sol.

El sextante (Fig. 70) garantizaba un error de  $\pm 5'$ , que equivalen a 5 millas náuticas de error. Eso hacía que fácilmente se llegase a otro puerto distinto al que se quería ir, si no se conocía previamente, como le paso al Rey Carlos I de España y V de Alemania en su primer viaje.

**Nota:** recordamos que un minuto de arco es equivalente a una milla náutica, 1852 m.



Fig. 70. Sextante



**Fig. 71.** Bitácora del siglo XX

Actualmente, con el apoyo de la disciplina satelital, el cuaderno ha pasado a ser digital, con las cartas náuticas, el diario de los diferentes derroteros por coordenadas geográficas y UTM. Se obtienen mayores precisiones de posicionamiento y toda la información marítima.

Estos satélites militares y cartográficos con las siglas GPS (Sistema Global de Posicionamiento) (Fig. 72) se iniciaron en la década de los 60 del siglo XX. Fueron desarrollándose y lanzándose hasta completar 24 satélites (18 operativos y 6 de reserva), todos ellos gestionados por EEUU.



**Fig. 72.** Satélites del sistema GPS

Pronto empezaron a incorporarse al acceso al espacio otras naciones y con otros fines, por ejemplo: de comunicación, geográficos, meteorológicos, ambientales, geológicos, espionaje, control marítimo y aéreo, etc.

Hasta llegar a la última generación de satélites los “Starlink” con fines *socioeconómicos* (internet), de la empresa SpaceX, de Elon Musk (Fig. 73 y 74).



**Fig. 73 y 74.** Generación de satélites Starlink

La gran dependencia de los EEUU al usar los satélites cartográficos (GPS), hizo que pronto otros países desarrollaran alternativas y se pusieran en órbita alta nuevas constelaciones de satélites. Ahora tenemos la constelación rusa GLONASS, la china BEIDOU y la europea recientemente incorporada GALILEO.

El auge sin retorno de la tecnología espacial hace caer en desuso todos los instrumentos históricos ya mencionados, pero no es extraño encontrar en los baúles de los capitanes de navegación algunos instrumentos entrañables, por si se colapsara el sistema de satélites y se tuviese que echar mano de ellos para la determinación de las coordenadas geográficas (Latitud y Longitud).

Se recomienda ver el video del IGN sobre la geolocalización en el mundo:

[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=102&v=uOfZo6ilhIw&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=102&v=uOfZo6ilhIw&feature=emb_logo)

## Sobre el agua (horizontal) se elevan las verticales simbólicas



Fig. 75. Imagen extraída del video emitido por RTVE\_2, Expedición de Fernando de Magallanes  
<https://www.youtube.com/watch?v=m9fljctzU4U>

Estando sobre el mar, no podríamos dejar de comentar algo de nuestro buque insignia (Fig. 75) Juan Sebastián Elcano, donde los vaivenes del mar (balanceos de la lámina horizontal) hacen girar al unísono los diversos mástiles como una pieza inseparable (V/H), condicionada su estabilidad al centro de la gravedad del barco.

En la Figura 76 vemos a Dubai, ciudad de los Emiratos Árabes, que en las últimas décadas han transformado su paisaje, economía y urbanismo, creando ciudades con rascacielos enormes en el mar y en el desierto.

El control y seguimiento de sus edificios ha sido un reto para la Ingeniería Topográfica, urbana y Topométrica, usando todo tipo de tecnologías (Instrumentales E.T /GPS - láser- Satelitales) para el control horizontal y vertical de sus edificios.



Fig. 76. Construcciones verticales en los Emiratos Árabes

## Expresión de la V/H en Topografía, Geodesia y Cartografía

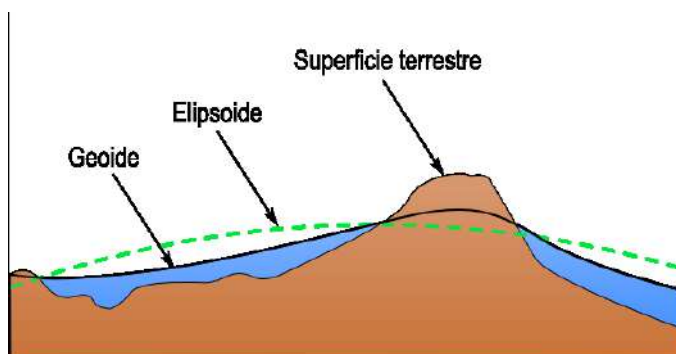


Fig. 77. Esquema de las tres superficies terrestres según la geodesia

En Geodesia, Cartografía y Topografía se conocen tres superficies (Figura 77): la **Topográfica** que representa la forma del terreno, con su masa continental, que condicionará la gravimetría y por supuesto, la nivelación topográfica en toda la superficie de la Tierra.

La segunda superficie es la denominada como **Geoide**. Este concepto fue acuñado en el siglo XVIII, por el matemático, astrónomo y geodesta Friedrich Gauss, aunque antes lo avanzara Issac Newton en su Principia (1687). También dos franceses (astrónomos cartógrafos y topógrafos) de la familia Cassini estudiaron la forma de la Tierra, y discreparon con Newton. Este opinaba que la Tierra debería ser oblata y para los Cassini debería ser prolata (Figura 78).

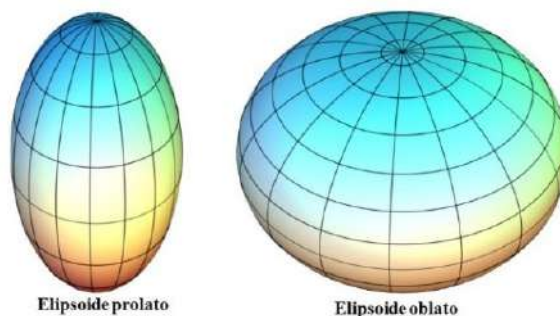


Fig. 78. Esquema de elipsoide prolato y oblato.

En el año 1736 se realizaron dos expediciones científicas, una por parte de Inglaterra y la otra por parte de Francia, con el objetivo de medir un grado de arco de meridiano. La importancia de controlar las mediciones verticales y horizontales era crucial y compleja de realizar (topográficamente).

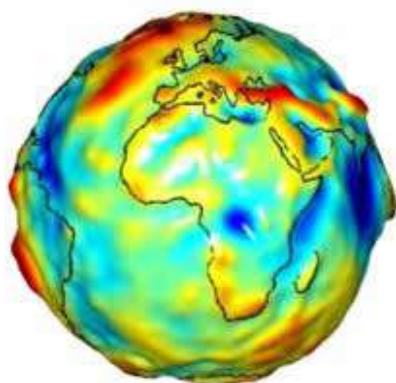


Fig. 79. Superficie terrestre

Los ingleses se fueron a Laponia, y la expedición francesa a Quito. Esta estuvo dirigida por Condamine, Godin, Burguer y el español Jorge Juan (cartógrafo astrónomo y marino), acompañado de Antonio de Ulloa. Resultó que Newton tenía razón, la Tierra tiene forma achatada por los polos, por lo que su radio polar es menor que el radio ecuatorial. A partir de entonces se establecieron las dimensiones de la Tierra y a continuación, el sistema métrico decimal.

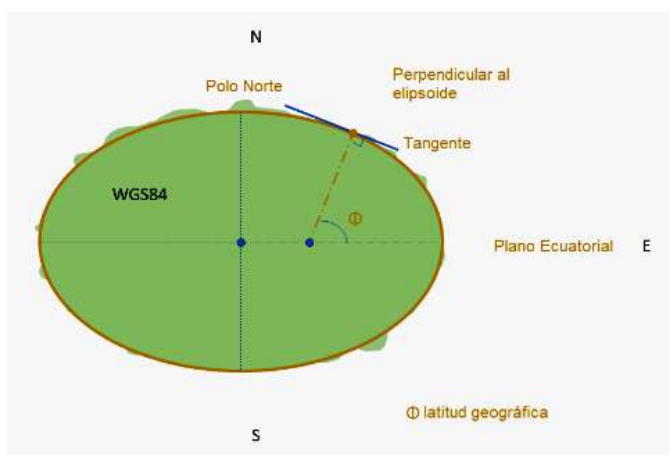


Fig. 80. Elipsoide de referencias

llamado Datum europeo, ED-50, el punto está ubicado en la universidad de Potsdam, Alemania.

Posteriormente se han ido usando diversos elipsoides, según los continentes. El elipsoide más utilizado actualmente es el WGS84, que es el que toman como referencia para sus coordenadas las diversas constelaciones de satélites.

El punto Datum es el lugar de la superficie de la Tierra donde son coincidentes las tres superficies geodésicas. En él, la vertical astronómica y la geodésica son coincidentes, o sea, su desviación es cero.



Fig. 81. Ilustración de las tres superficies geodésicas

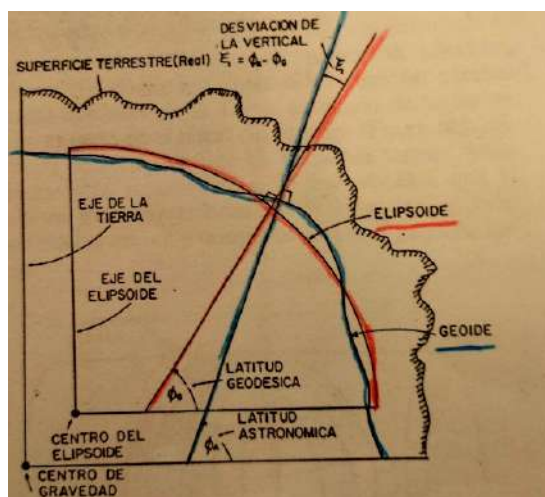


Fig. 82. Esquema de la desviación relativa de la vertical de lugar

se corresponde con el campo gravitatorio en dicho punto. El geoida es la

Posteriormente se necesitó un modelo matemático para representar la Tierra y el sistema de coordenadas. Se adoptó una superficie **elipsoidal**, (Fig. 80) ideal, que se hace tangente en un punto concreto de la superficie terrestre. En ese punto, la vertical astronómica del lugar coincide con la vertical geodésica del elipsoide. En el

Si no estás en el Datum, dichas verticales formarán un pequeñísimo ángulo entre ellas, denominado Desviación relativa de la vertical. Conforme nos alejamos del Datum mayor desviación relativa tendrá. Cada país o continente tiene su Datum.

Al trabajar sobre el geoida en las disciplinas gravimétricas y geodésicas o geofísicas, la vertical astronómica del lugar técnicamente es aquella que

superficie equipotencial del campo gravitatorio (prolongación de los mares en calma), donde la fuerza de la gravedad tiene valores equiparables sobre un nivel medio del mar considerado.

En 1872 en España se eligió la ciudad de Alicante para establecer el origen de las altitudes (coordenada Z) para todo el país, por tener unas características orográficas, astronómicas, oceanográficas, geológicas, ambientales y meteorológicas idóneas, además de una buena comunicación ferroviaria con Madrid. A partir de ahí, se midieron las altitudes de las diversas ciudades. El primer punto de nivelación de alta precisión se colocó en el primer escalón del Ayuntamiento de Alicante (Fig. 83), que tiene ya una altura sobre el nivel del mar de Alicante de 3,4095 metros (Fig. 84).

Después se trasladaron por las líneas ferroviarias unas redes altimétricas de alta precisión, dando así altitudes a todas las ciudades de España. Por eso suele haber en la mayoría de las estaciones de tren y edificios emblemáticos, entre ellos los observatorios de Madrid y San Fernando, una placa que nos dice la altura (cota ortométrica) sobre el nivel medio del Mediterráneo en Alicante. Desde entonces se están registrando y comprobando las fluctuaciones del nivel medio del mar Mediterráneo en los dos mareógrafos que existen en la ciudad de Alicante, mediante sistemas GNSS (Fig. 85).



**Fig. 83.** Punto de nivelación del Ayuntamiento de Alicante.



**Fig. 84.** Altura sobre el nivel del mar del primer escalón del ayuntamiento de Alicante



**Fig. 85.** Mareógrafo de la ciudad de Alicante

Me permito hacer aquí un comentario personal: la humanidad tardó centenares de miles de años en encontrar la verticalidad, y solo la abandonará cuando la horizontalidad gane a la verticalidad, que será cuando decidamos ir a buscar otras tierras, otros mares y otros universos.

## EN EL CIELO

### Cómo se expresa la verticalidad y la horizontalidad en el cielo



Fig. 86. Dios Anubis



Fig. 87. Anubis, Dios de la muerte



Fig. 88. Ritual del pesaje del alma

decidía si su alma debería reunirse con su momia y permanecer eternamente en los cielos, o por el contrario, si el corazón pesaba más que la pluma, su alma era arrojada al Amit (inframundo = infierno).

Cuando el alma iba al inframundo le esperaba un ser (Fig. 89) con cabeza de cocodrilo, torso y manos de león, y patas de hipopótamo que devoraba y acababa con la inmortalidad. Esta descripción nos recuerda a la osa mayor antiguamente denominada por los egipcios Mesejtyu, que se encuentra en los textos egipcios y dibujada en el templo de Dendera.

Partimos como referencia del libro de los muertos de la civilización egipcia, donde encontramos el tratado de la **Psicostasia**, con una carga espiritual que influirá en la religión cristiana, ya que habla del “**juicio final**” dirigido por Osiris (dios supremo del inframundo y de la resurrección), donde la horizontalidad y la verticalidad tienen un papel determinante.

En el ritual del “**pesaje del alma**”, se cuenta que Anubis (dios de la muerte y conductor de las almas por los cielos) denominado el psicopompo, transporta el corazón del difunto a la presencia de Osiris, lo coloca en uno de los platillos de la balanza y en el otro platillo se colocaba la pluma de la justicia, la verdad y la pureza.

Además, en el juicio final se encontraban el dios celeste (Horus) y el dios de la sabiduría (Thoth). Este último ejercía como notario y preguntaba acerca de su conducta en su vida pasada, para averiguar la verdad y pureza de sus respuestas, y en consecuencia Osiris



Fig. 89. Animal híbrido que recibía las almas en el inframundo



Fig. 90. Constelación del unicornio

El lugar del cielo donde se celebraba el juicio estaba próximo a la estrella Cerastes ( $\beta$  de Monoceros, a la derecha de la constelación de Orión). Junto a Osiris se encontraba el perpetuo tribunal del juicio final, donde los dioses disponían de una balanza = **Libra** que representa la justicia y la verdad.

La balanza del pesaje (Figura 91), contenía dos platillos a ambos lados del

soporte vertical, en uno se colocaba el corazón del difunto y en el otro platillo se colocaba la pluma de la verdad y pureza (**Maat**).

**Nota:** La fotografía de la Figura 91 está tomada en la exposición de los XIII Encuentros de ApEA celebrados en Úbeda (2019). La balanza tiene los platillos, uno con la pluma de la verdad y pureza y el otro platillo con el corazón del difunto.

En muchos tímpanos de las catedrales cristianas aparecen también representada la constelación de Libra, indicando la justicia y la equidad de los cielos, por lo que dicha constelación fue ubicada en la mitad de las 12 constelaciones que antiguamente componían la banda zodiacal, representando a los equinoccios de primavera y de otoño (igualdad duración entre la claridad y la oscuridad, equivalente a 12 horas).

Actualmente ese lugar le corresponde a Escorpio, debido a la precesión de los equinoccios, descubierto por Hiparco de Nicea en el siglo II antes de Cristo. También aparece en los mapas celestes del templo de Dendera



Fig. 92. Constelación de Libra

La clave del sistema, era conocer si **el fiel de la balanza o romana** era coincidente con la dirección de la plomada (eje vertical) y si estaban contrastados y equilibrados los platillos antes de realizar la operación del pesaje en el juicio final. Cabe pensar por la iconografía escatológica cristiana, que también podría ser manipulada antes o mientras se estaba realizando el pesaje del alma.



Fig. 91. Balanza del pesaje



Fig. 93. Arcángel San Miguel arribando el alma a su dominio, haciendo que su platillo pesase más que el platillo del demonio

En algunos tímpanos de las iglesias, por ejemplo, en la fachada occidental de Notre Dame de Paris (Fig. 94) aparece esta simbología eterna entre el bien y el mal, entre los infiernos y los cielos. Como vemos aquí gana el arcángel al demonio.

Estos rituales se han ido heredando y transmitiendo a distintas religiones, en especial a la cristiana, adaptando conceptos y simbología.

Terrenalmente, aunque no haya una relación directa (V/H), sí se puede encontrar una simplificación de estos símbolos

muy utilizados como son: la cruz cristiana (Fig. 95), la cruz roja (Fig. 96) o el cuadro de la persistencia de la memoria o relojes blandos de Salvador Dalí (Fig. 97), en el que cada reloj colocado en un *plano horizontal*, al subir la temperatura se ablanda y se derrite, buscando la gravedad o vertical de ese lugar.



Fig. 94. Representación de la balanza en Notre Dame

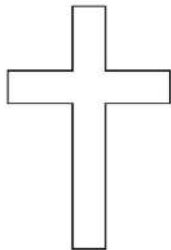


Fig. 95. Cruz cristiana



Fig. 96. Símbolo de la Cruz Roja



Fig. 97. La persistencia de la memoria

## Expresividad (V/H) en tres ejemplos fundamentales de física

Vamos a ver la expresividad V/H en tres ejemplos fundamentales de física que han servido para cambiar la forma de pensar y trabajar en el siglo XIX y XX, y son los fundamentos básicos del futuro (Fig. 98, Fig. 99 y Fig. 100).

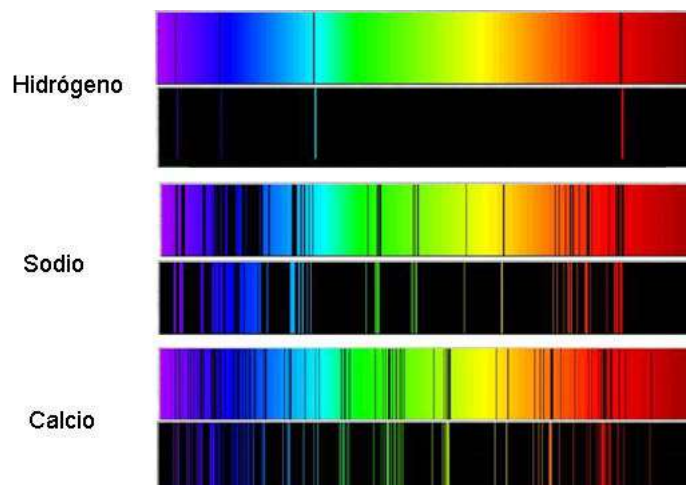


Fig. 98. Esquema del espectro electromagnético de Bohr

En la Fig. 98 se muestra un espectro electromagnético, donde aparecen las líneas verticales de absorción y de emisión de los elementos químicos, que Niels Bohr en 1913 explicó con su teoría sobre la estructura del átomo, con diferencias energéticas en los orbitales atómicos. Junto con Maxwell y Planck, pusieron los pilares de la física cuántica.

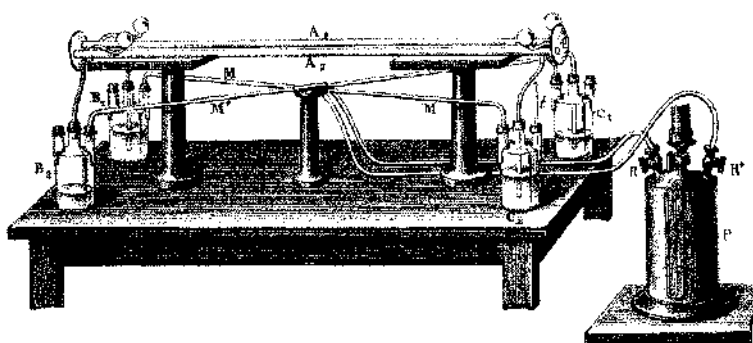
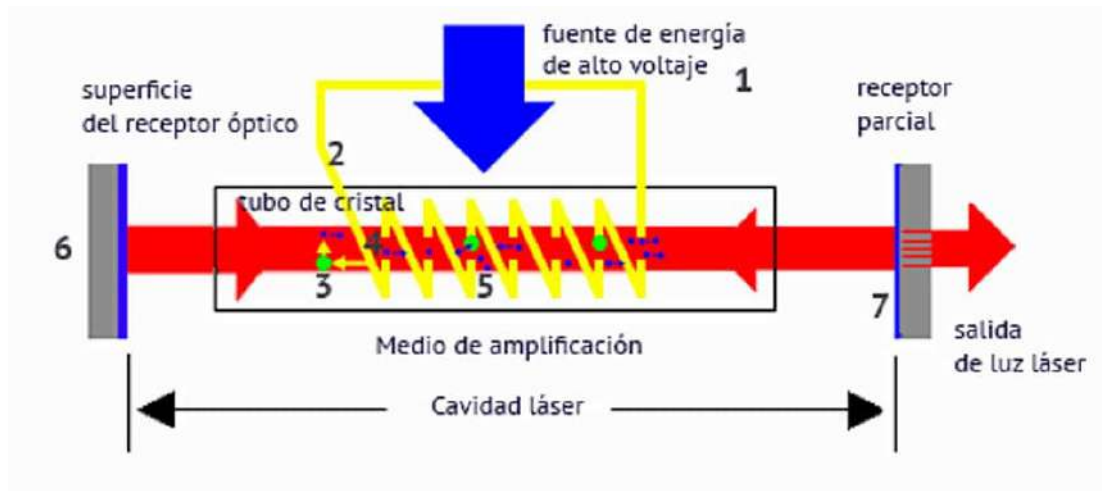


Fig. 99. Experimento de Fizeau

En la Fig. 99 vemos el experimento que realizó Fizeau en 1849 para medir la velocidad relativa de la luz a través del agua. Si nos fijamos, se han colocado unos soportes verticales, ortogonales a la mesa (V/H) para que las distintas colimaciones (eje óptico + eje mecánico) estuviesen perfectamente paralelos a la mesa, que debía estar ésta muy bien nivelada para que los rayos fuesen horizontales.



**Fig. 100.** Esquema de la obtención de luz láser

En la Fig. 100 tenemos el esquema de cómo se obtiene la luz láser, en el que es importante la ortogonalidad de los dispositivos. Con el láser se alcanza una gran precisión en las mediciones selectivas, ya ha sido un tremendo avance tecnológico de aplicación en numerosas disciplinas como en medicina, telemetría, teledetección, astronómica, geodesia, topografía aeronáutica, navegación, etc.

## ***Tercer Micro Taller Astropeques: Cosmografía de ApEA***

Este taller nos servirá para entender y comprender conceptos básicos en Astronomía y ciencias geográficas, empezando a trabajar con un sistema de aprendizaje clásico, peripatético, aplicado en la escuela helenística de Aristóteles (s. IV a.C.). Nos referimos al razonamiento deductivo. Mediante este proceso, haciéndonos preguntas y deduciendo las distintas respuestas a una serie de conceptos evidentes que nos ofrece la propia naturaleza, se pueden realizar demostraciones y aplicaciones a posteriori con el instrumental necesario.



Los miembros de ApEA saben encontrar las respuestas adecuadas a los conceptos propuestos, reconduciendo las ideas de los estudiantes adecuadamente, en función de su edad, según el fenómeno a estudiar, experimentando visualmente el fenómeno o haciendo determinados ejercicios. Para ello, es importante trabajar las siete preguntas a cada concepto: ¿qué sabemos de (x)...?, ¿cómo?, ¿cuánto?, ¿cuándo?, ¿dónde?, ¿por qué? y ¿para qué?

Posibles conceptos para trabajar con ellos:

- Esfericidad de la Tierra, sentido de giro, órbita terrestre, su oblicuidad.
- Plano del horizonte y sus ejes virtuales de referencia (eje del mundo, eje de la vertical del lugar).
- Plano del horizonte, replanteo de la meridiana, los puntos cardinales y colocación de las direcciones de la rosa de los vientos.
- Relación de la gravedad con otras disciplinas.
- Relacionar la latitud con el ángulo que forma el plano del horizonte con el eje del mundo (P'P). Determinación de la latitud con un bolígrafo.
- Diferencias entre el eje del mundo PP', que nos marca el giro de la Tierra, y el eje magnético, que nos marca el norte magnético. Conocer la declinación y sus variaciones.
- Posicionamiento de una persona en la Tierra (coordenadas geográficas latitud y longitud). Ejercicios.
- Conceptos del Perieco y Anteco (Antípodas). Realizar ejercicios.
- Usar planisferios o programas informáticos para identificar estrellas próximas a tu Cenit o Nadir, conocer a qué constelaciones pertenecen, (condicionado a la latitud de lugar). Ver fecha y hora de observación para ver algunas estrellas próximas al Cenit/Nadir, por ejemplo, Vega o Capella.
- Estudio de las condiciones para el primer vertical (E (orto), Cenit/Nadir. W (ocaso)).

- Coordenadas horizontales (A, h, T). Ejercicios para conocer las direcciones y sentidos de los diversos pasos de los satélites artificiales.
- Trabajar con GPS (estándar), ver coordenadas, precisiones y aplicaciones. Coordenadas analíticas (X, Y, Z) UTM

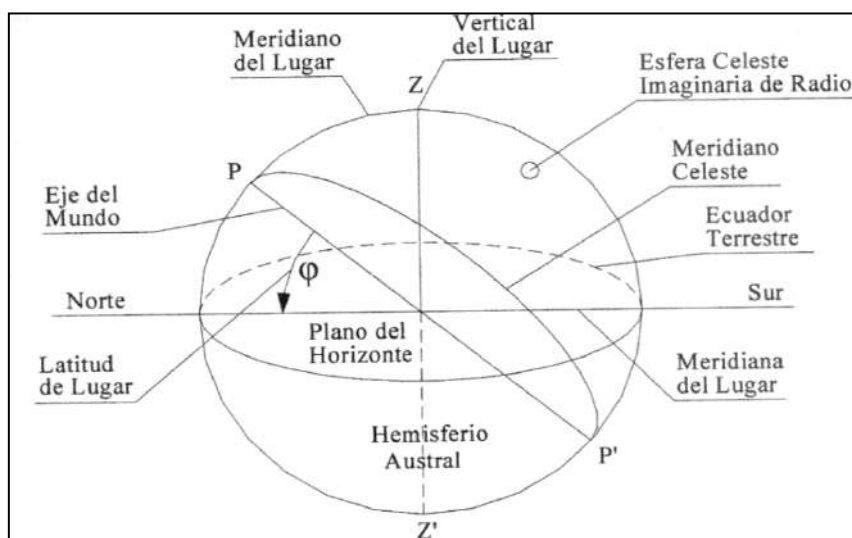
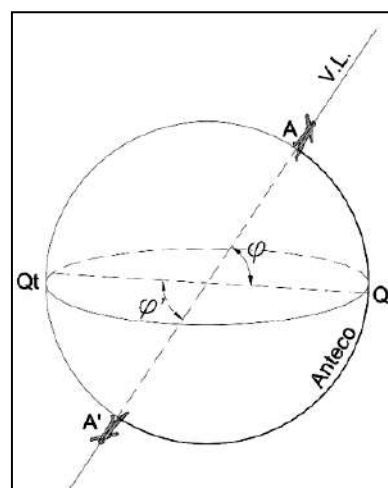
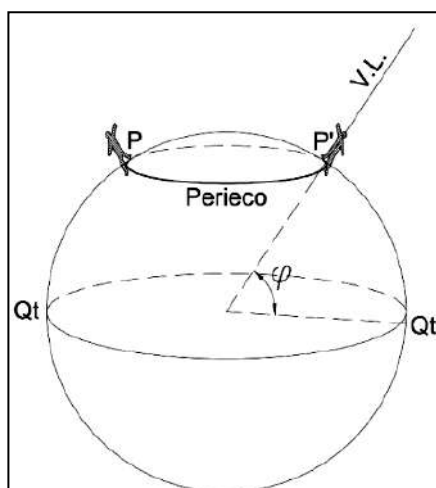
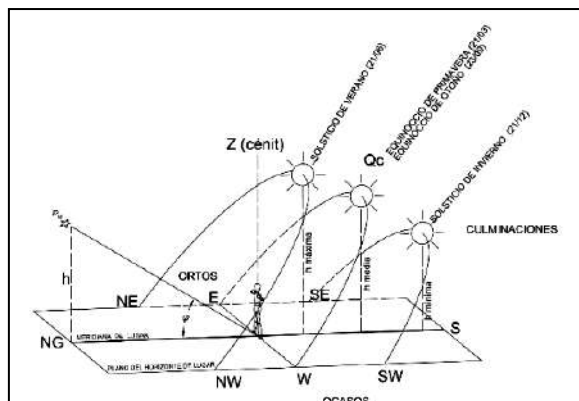
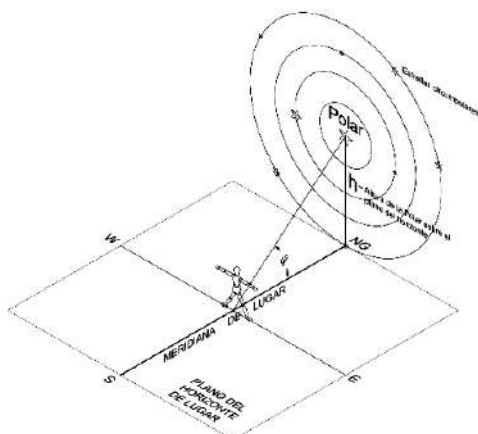
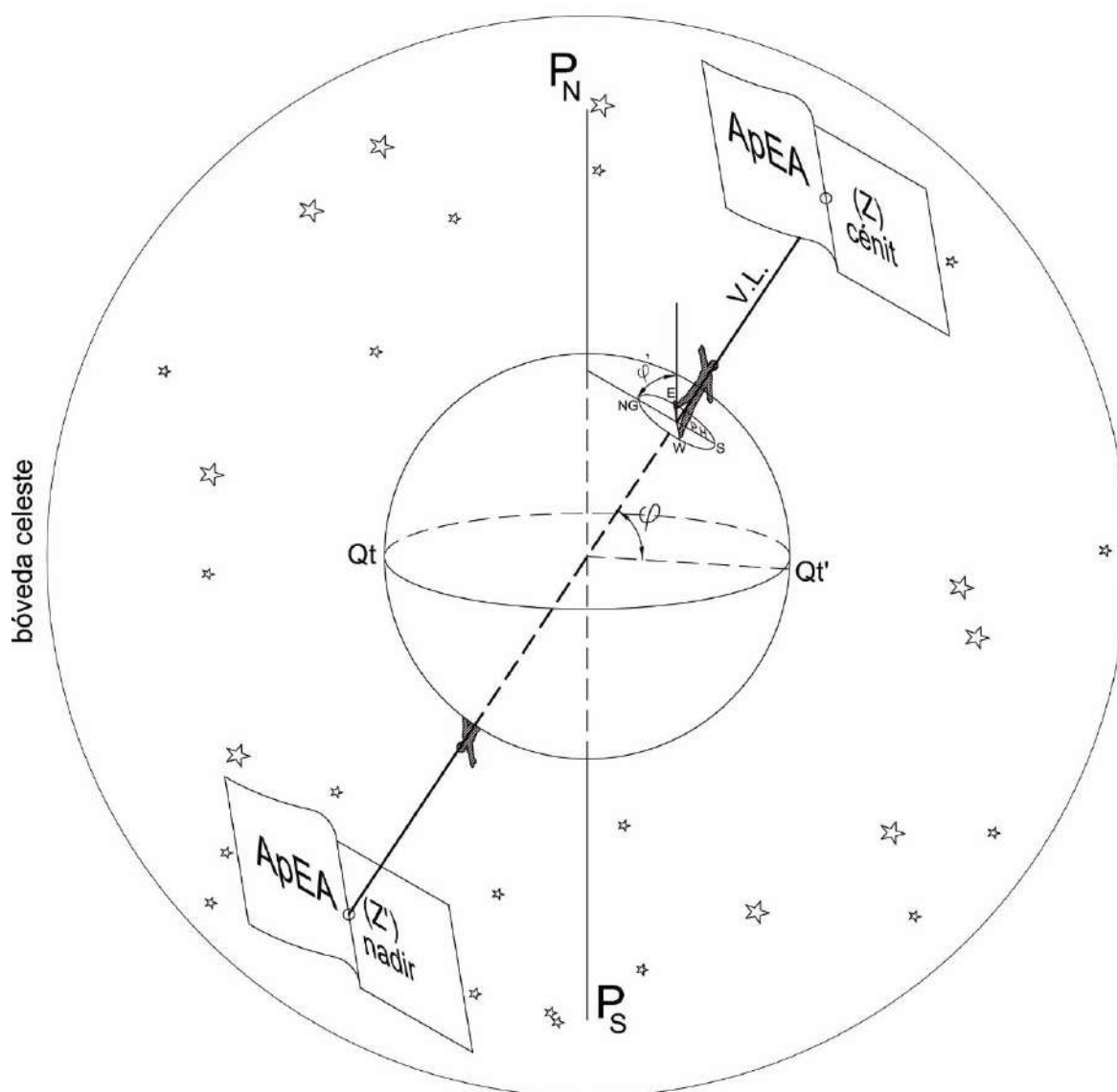


Fig. 101, 102, 103, 104 y 105. Láminas del autor para el Micro Taller de Astropeques



© E. Aparicio &amp; S.Vilella

Fig. 106. Lámina del autor para el MicroTaller de Astropeques

En la Figura 106b tenemos una imagen obtenida con la aplicación astronómica *Exoplanet*, desde nuestro Cenit, o Nadir, sentados en nuestro libro de divulgación de ApEA, contemplando desde los cielos lo que ocurre en los mares y en la tierra.



**Fig. 106b.** Imagen obtenida de la aplicación astronómica *Exoplanet*

## Verticalidad vs Horizontalidad en la aeronáutica espacial

Quería finalizar este recorrido por los cielos, haciendo una mínima alusión de la importancia de la verticalidad y horizontalidad en la aeronáutica espacial a lo largo de la historia. Me serviré de unos ejemplos para reflexionar sobre la importancia que tiene construir las plataformas de lanzamiento usando alta tecnología, para cumplir con las precisiones de montaje de un plano horizontal necesarias para que la verticalidad del cohete sea lo más exacta posible, de forma que esté totalmente equilibrado y se pueda conseguir un perfecto lanzamiento hacia el objetivo previsto.

### Repaso histórico



**Fig. 107.** Lanzamiento del Saturno V

#### **Año 1969**

Lanzamiento del cohete Saturno V que llevaría a los astronautas del Apolo XI a pisar la Luna (Fig. 107).



**Fig. 108.** Estación Espacial Internacional (ISS)

#### **Año 1980**

Rusia, Estados Unidos y Europa inician la construcción de la Estación Espacial Internacional (ISS) (Fig. 108).



**Fig. 109.** Lanzamiento del transbordador

#### **Años 1981 – 2011**

La NASA usa los transbordadores Columbia, Challenger, Discovery, Endeavour, y Atlantis (Fig.109).



**Fig. 109.** Nave Crew Dragon DM-2

### **Año 2020**

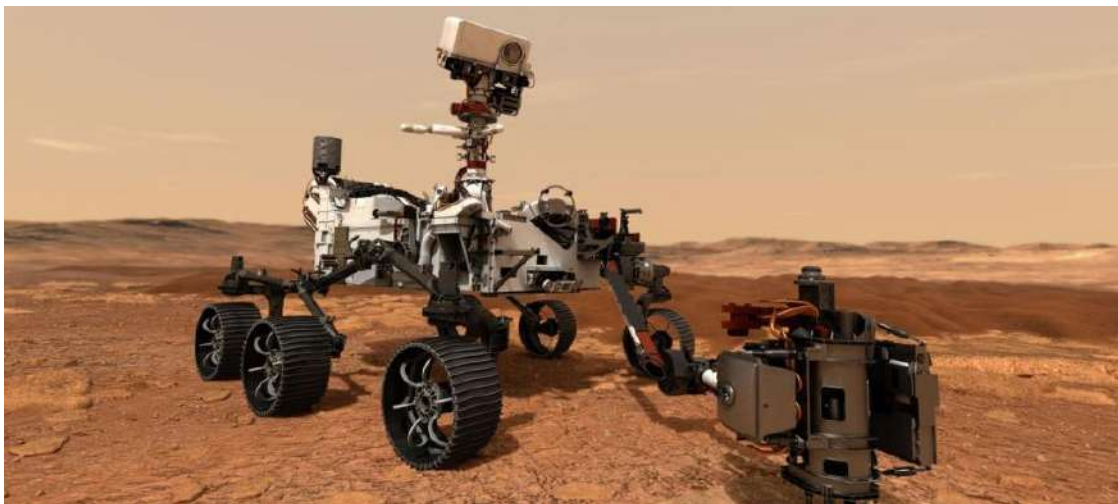
La nave Crew Dragon DM-2, de la compañía SpaceX, de Elon Musk, sobre un cohete Falcon 9, lleva a la ISS dos astronautas y regresan con éxito. Es un salto cualitativo en la era espacial (Fig. 109).



**Fig. 110.** Lanzamiento a Marte

### **Julio de 2020**

Los Emiratos Árabes, China y Estados Unidos envían a Marte varios vehículos de exploración de la superficie marciana, con el objetivo de encontrar trazas de vida (Fig. 110-111). Sus sistemas inerciales giroscópicos mantienen la referencia horizontal-vertical para orientarse.



**Fig. 111.** Rover Perseverance en el planeta Marte

YouTube de RTVE sobre el Rover Perseverance

<https://www.youtube.com/watch?v=HoxDe8pSDto&app=desktop>

### **Reflexión final personal**

Tanto en la observación del macrocosmos, como en el microcosmos, ambas generan un éxtasis de curiosidad individual indescriptible, generando un halo enigmático/emocional tal que, una vez encontrado, descifrado y analizado, es necesario divulgarlo para mejorar el conocimiento y comprensión de nuestras sociedades.

Enrique Aparicio Arias, 4 de septiembre de 2020.

## FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

### Algunas de las fuentes bibliográficas analógicas consultadas:

APARICIO ARIAS, E. *Expresión Gráfica y Topografía I*. Editor Ramón Torres, Reprografía de la Escuela Superior de la Politécnica. Universidad de Alicante. (2000)

APARICIO ARIAS, E. *Astronomía básica, constelaciones, láminas y reloj de Sancho*. Editor Ramón Torres, (Reprografía de la E. S. Politécnica Universidad de Alicante. (2009).

ARRANZ, P. *Guía de campo de las constelaciones*. Equipo Sirius, S.A. Madrid (2004)

ARRIBAS, A. *Astronomía paso a paso. Segundo ciclo ESO*. Equipo SIRIUS. Madrid (2001)

BELMONTE, J.A. (editor). *Arqueo astronomía hispana*, Grupo Sirius. Madrid (1994)

BELMONTE, J.A. *Las Leyes del cielo*. Ediciones Temas de Hoy. Madrid (1999)

BERLMONTE, J.A. *Pirámides, Templos y Estrellas. Astronomía -Arqueología en el Egipto antiguo*. Editorial Crítica. S.L. (2012)

COUPER, H. y HENBEST, N. *Historia de la Astronomía*. Editorial Paidós. Barcelona (2008)

DOMINGUEZ GARCIA TEJERO, F. *Topografía general y aplicada*. Madrid. (1993)

GARCIA, A. ROSIQUE, M. y SESGADO, F. *Topografía Aplicada para Ingenieros*. Reprografía de la Politécnica de Murcia. (1996).

GIL CRUZ, A.J. y RODRIGUEZ CADERÓ, G. *Problemas resueltos de astronomía*. Equipo SIRIUS. S.A. Madrid. (2000)

HAWKING, S. y MLODINOW, L. *El gran diseño*. Editorial Crítica, S.L. Barcelona. (2010)

KAM CHUEN, L. *La ciencia China del Feng Shui*. Edición española Oasis S.L. (1995)

MARTIN ASIN, F. *Apuntes de Astronomía*. Editorial Paraninfo. Madrid (1982)

MARTIN ASIN, F. *Geodesia y Cartografía Matemática*. Editorial Paraninfo. Madrid (1983)

MARTIN, J. *Historia de la Cartografía y de la Topografía*. Ministerio de Fomento. (2002)

MEDEROS, L. *Navegación Astronómica*. Editorial Noray S.A. Barcelona. (2014)

RODRIGUEZ, A. BLANCO, F. MUIÑOS, M.J. *Trigonometría plana y esférica con aplicaciones en la navegación*. Ediciones Paraninfo. Madrid. (2012)

SANTOS MORA, A. *Topografía de obras y levantamientos topográficos*. Publicaciones Escuela Superior de la Politécnica de Madrid (1978).

SERRA, R. *Arquitectura y climas*. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona. (1999).

TORIJA HERRERA, R. *Arquímedes alrededor del círculo*. Nivola libros y ediciones. (2007)

WOODEN BOOKS, L. *Quadrivium: Las cuatro artes liberales clásicas: Aritmética, Geometría, Música y Astronomía*. Ed. Librero IBP. Madrid. (2019)

### **Revistas principales consultadas**

ASTRONOMIA (II época), director Ángel Gómez Roldán.

NADIR, Revista de la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía (ApEA)

*14 pasos hacia el universo*, de NASE/IAU. Editoras: ROS, ROSA M. y GARCÍA, B.

### **Principales fuentes bibliográficas digitales: YouTube y Wikipedia**

[http://www.traianvs.net/pdfs/2004\\_topografia\\_romana.pdf](http://www.traianvs.net/pdfs/2004_topografia_romana.pdf)

<https://es.slideshare.net/eljota66/egipto-ii-arquitectura-escultura-y-pintura>

[https://www.ign.es/rom/visitas/folleto\\_ROM.pdf](https://www.ign.es/rom/visitas/folleto_ROM.pdf)

<https://mascvuex.unex.es/ebooks/sites/mascvuex.unex.es/mascvuex.ebooks/files/file/9788491270034.pdf>

[https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/14182/FreireGonzalez\\_Nuria\\_PFC\\_2013\\_04de7.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/14182/FreireGonzalez_Nuria_PFC_2013_04de7.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

<https://web.ua.es/es/actualidad-universitaria/documentos/2016/octubre16/declinacion-cero.pdf>

<https://relojesdesol.wordpress.com/un-poco-de-historia/>

<https://www.ugr.es/~ctrillo/Revista%20Tecnologia%20Agua.pdf>

<http://museovirtual.csic.es/salas/universo/astro4.htm>

<https://sites.google.com/site/eportafoliosigsaglaia2/foro-sobre-arg-gis?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>

<https://www.geodatos.net/antipodas/espana/alicante>

<http://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/GDS-Red-Mareografos.pdf>

[https://personal.ua.es/enrique.aparicio/1.3.1\\_Por\\_que\\_Alicante\\_tiene\\_la\\_cota\\_cero\\_files/1.3-por\\_que\\_alicante\\_tiene\\_la\\_cota\\_cero.pdf](https://personal.ua.es/enrique.aparicio/1.3.1_Por_que_Alicante_tiene_la_cota_cero_files/1.3-por_que_alicante_tiene_la_cota_cero.pdf)

[http://www.astrosurf.com/aagc/gt\\_historia\\_constelaciones/AAGC%20-%20Las%20constelaciones.htm](http://www.astrosurf.com/aagc/gt_historia_constelaciones/AAGC%20-%20Las%20constelaciones.htm)

<https://www.ucm.es/data/cont/docs/621-2013-11-21-4.%20Psicostasis.pdf>

<https://www.navegar-es-preciso.com/news/derrota/>

<https://www.uv.es/fabregai/apuntes/aoi.pdf>

[http://quimicafisica.ugr.es/pages/docencia/informacion\\_de\\_asignaturas/quimica/documentos/espectro\\_hidrogeno/!](http://quimicafisica.ugr.es/pages/docencia/informacion_de_asignaturas/quimica/documentos/espectro_hidrogeno/)

### **Colaboraciones y fuentes bibliográficas e ilustraciones y gráficos**

Wikipedia.org; Pinterest; Wikipedia Commons; Propios del autor; Astroingeo, **Rubén Peinado y Santiago Vilella.**



ApEA, la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía, nació en 1995 para acoger a todas las personas que se dedican a la enseñanza de la Astronomía en centros educativos, planetarios, museos de la ciencia, agrupaciones de aficionados y clubes de estudiantes.

ApEA engloba a todos los interesados en la enseñanza de todos los niveles educativos reglados -desde la enseñanza primaria hasta la universitaria- así como los no reglados. También organiza reuniones de formación para sus socios y publica materiales de interés didáctico, como la presente colección.

Más información en [www.apea.es](http://www.apea.es)

