

OMBRES QUE MARQUEN LES HORES

TREBALL DE RECERCA BATXILLERAT

CURS: 2014/2015



DAMIÀ COSIALLS BAZ

Tutora: TERESA CLOSA VIDAL

INSTITUT GUINDÀVOLS

Índex

	Pàgina
1. Introducció	5
2. Objectius	7
3. Marc teòric	8
3.1. Orígens de la mesura del temps	8
3.2. Com comptar les hores amb el Sol?	9
3.2.1. Els orígens	9
3.2.2. D'Egipte a Roma	10
3.2.3. Xina	14
3.2.4. Cultures de l'Amèrica precolombina	14
3.2.5. Els àrabs i l'Edat Mitjana	14
3.2.6. Fins als nostres dies	16
3.3. Moviment de translació de la Terra: les estacions	16
3.4. L'esfera celeste des de l'interior	19
3.5. El zodíac	23
3.6. Els rellotges de sol	24
3.6.1. Fonaments	24
3.6.2. Línies horàries i zodiacals	25
3.6.3. Rellotge equatorial	26
3.6.4. Rellotge de sol horitzontal	28
3.6.5. Rellotge de sol vertical	32
3.6.5.1. Rellotge vertical orientat	32
3.6.5.2. Rellotge vertical declinant	34
3.6.5.3. Rellotges laterals	36
3.6.5.4. Rellotge orientat al nord	38

3.6.5.5. Rellotge analemàtic	38
3.7. Hora solar i hora oficial	39
3.7.1. Fusos horaris	43
4. Part pràctica	45
4.1. La Terra paral·lela	45
4.1.1. Observació 1: el dia i la nit	46
4.1.2. Observació 2: Evolució de l'ombra d'un gnòmon	47
4.1.2.1. En un meridià	47
4.1.2.2. En un paral·lel	48
4.1.3. Rellotges de sol equatorials	50
4.1.3.1. Rellotge de sol equatorial en un meridià	50
4.1.3.2. Rellotges de sol equatorials en un paral·lel	52
4.2. Determinació experimental del migdia solar i la meridiana	54
4.2.1. Utilitzant un gnòmon	54
4.2.2. A partir del programari Stellarium	57
4.2.3. A partir de les hores de sortida i posta del Sol	57
4.3. Paret del pati de l'institut on s'ha de col·locar el rellotge	58
4.3.1. Disseny d'un rellotge solar de paret vertical declinant	58
4.3.2. Càlcul de la declinació de la paret amb un transportador	58
4.3.2.1. Mètode geomètric	58
4.3.2.2. Utilitzant una aplicació d'internet	59
4.4. Disseny del quadrant solar	61
4.4.1. Càlcul de l'angle β de les línies horàries	61
4.4.2. Col·locació del gnòmon	61
4.4.3. Dibuix de les línies horàries	62
4.4.4. Disseny del quadrant utilitzant el programa Shadows	62
4.4.5. Construcció del rellotge	64

5. Conclusions	65
6. Referències bibliogràfiques	68
7. Agraïments	70
8. Annexes	71
8.1. Annex I. Fitxes descriptives de diferents rellotges de Sol	71
8.2. Annex II. Franco avança l’hora civil 60 minuts	98
8.3. Annex III. Llegendes o lemes	99
8.4. Annex IV. Glossari	103

1. Introducció

Abstract:

In this research work we have tried to bring together all that is necessary to understand how sundials work.

It consists of three parts: first the theoretical part, in which we carried out some research on the history of sundials, the movements of the Sun in the different seasons, and the different types of sundials. Afterwards, in the practical part we have studied how the gnomon shadow changes during the day and during the year. We have also designed and built a vertical sundial for our secondary school.

An annex with an astronomical glossary and a catalogue of sundials can be found at the end of the project.

Quan has de fer el treball de batxillerat de recerca una de les moltes preguntes que et plantejges és quin tema escollir? Des de ben petit, recordo que quan viatjava amb la família, el meu pare sempre s'aturava davant d' un rellotge de sol i ens suggeria que comprovéssim si l'hora que marcava l'ombra de l'estil coincidia amb l'hora del rellotge de polsera. Gairebé mai coincidia: entre d'altres coses, els rellotges de sol indiquen l'hora solar, i aquesta difereix de l'hora civil. De tota manera, quan teníem en compte el desfasament horari respecte a l'hora solar per decisió governamental (+ 2 hores a l'estiu, i +1 hora a l'hivern), les diferències eren mínimes.

Em resultava molt sorprenent el fet que la direcció de l'ombra d' un petit pal clavat a la paret (estilet o gnòmon), o al terra, pogués indicar-nos l'hora. Però no sabia, el per què. Vaig pensar, que esbrinar el funcionament d' un rellotge de sol podria ser un bon punt de partida per al meu projecte de recerca. A més a més, seria interessant dissenyar i construir-ne un, i finalment col·locar-lo en una paret del pati de l'institut.

Mentre he anat fent el treball he observat que els rellotges de sol estan presents, no només en les façanes de moltes cases i edificis antics (palaus, esglésies, catedrals), sinó també en places, rotondes i jardins de molts pobles i ciutats d'arreu del món, essent una més de les moltes manifestacions de l'art popular, i formant part de la nostra cultura.

N'hi ha de molts tipus (horitzontals, verticals declinants, equatorials, etc.), i estan construïts amb materials molt diversos (rajoles, pedra, etc.). En alguns, hi apareix una llegenda, freqüentment escrita en llatí vulgar, en la qual el quadranter¹, intenta reflectir-hi la seva personalitat i la mentalitat de l'època, tot mostrant el vessant humà de l'aparell científic.

¹ Quadranter: artesà dels rellotges de sol.

A partir de la recerca bibliogràfica, ens hem adonat que en la majoria dels llibres que hi ha al mercat sobre aquesta temàtica, generalment, només mostren l'art de construir-los, i no solen explicar com estan calculats. Nosaltres hem volgut anar més enllà, i hem volgut conèixer la manera de fer els càlculs necessaris per determinar la posició de les línies horàries, en funció de la latitud, la declinació de la paret, etc.

Aprofundint en la recerca, hem descobert, que darrere d' un rellotge de sol s'hi amaga tota una ciència, molt desconeguda per la gent, que s'anomena gnomònica: si es vol entendre realment el funcionament d' un rellotge de sol cal tenir coneixements bàsics d'astronomia, sobretot entendre el moviment relatiu del Sol respecte a la Terra en les diferents estacions, i a més, tenir coneixements de trigonometria. És per això, que en una bona part del treball s'aborden conceptes astronòmics.

El treball està estructurat en tres parts ben diferenciades. A la primera, es fa una recerca bibliogràfica sobre l'interès que sempre ha mostrat la humanitat al llarg de la història per mesurar el temps i poder construir els calendaris: vindria a ser la història del rellotge de Sol. També s'estudien els moviments relatius del Sol envers la Terra. Finalment s'intenta explicar el funcionament dels rellotges de sol, i se'n fa una descripció dels diferents tipus.

A la segona part hi queda reflectit tot el treball de camp: es fa un estudi experimental de l'evolució de l'ombra d' un gnòmon en diferents punts de la Terra utilitzant el model de la "Terra paral·lela", es determina el migdia solar i la direcció de la línia meridiana, i finalment es dissenya i es construeix un rellotge de sol per l'institut.

Finalment, hi ha un annex format per un glossari de conceptes astronòmics, i un conjunt fitxes descriptives de rellotges de sol on es detalla el tipus de rellotge, els elements que el formen, els materials de què estan fets, on es troben, etc. Per fer aquestes fitxes, ens hem basat principalment en les fotografies que hem pres de tots els rellotges de sol que hem trobat als llocs on hem estiuejat els dos darrers anys: Londres, Tossa de Mar, La Vall d'Aran, El Pont de Suert, Lleida, Saragossa.... També formen part de l'inventari altres fotos fetes per persones que han col·laborat desinteressadament en aquest projecte: Teresa Closa, Esteban Esteban, Xavier Franch i l'Anicet Cosialls.

2. Objectius:

- Esbrinar la importància de l'ús de l'ombra del Sol al llarg de la història per mesurar el temps.
- Conèixer el moviment aparent del Sol al llarg del dia en les diferents estacions.
- Determinar experimentalment el temps solar local en diferents latituds amb l'ajut del model anomenat "Terra paral·lela".
- Conèixer els diferents tipus de rellotges de Sol i esbrinar els avantatges i els inconvenients que suposa la seva construcció.
- Determinar el migdia solar i la direcció de la meridiana (amb l'ajut d'un gnòmon i del programa *Stellarium*).
- Entendre com cal col·locar el gnòmon, element fonamental de qualsevol rellotge de sol.
- Saber conèixer l'orientació d'una paret per col·locar-hi un rellotge de Sol.
- Utilitzar mètodes geomètrics i trigonomètrics per elaborar rellotges solars.
- Construir un gran rellotge solar per a la paret del pati de l'institut.
- Fer una estimació de l'exactitud dels rellotges de sol.
- Fer un catàleg dels diferents tipus de rellotges de sol que hi ha, principalment al nostre territori, tot indicant les seves característiques.

3. Marc teòric

3.1. Orígens de la mesura del temps.

Una de les preocupacions més velles de la Humanitat ha estat la de mesurar el temps^[1]. Quan l'home caçador i nòmada va esdevenir sedentari (període del Neolític), li calia saber quin era el millor moment per sembrar i quan havien de fer la collita. Era necessari, doncs, inventar el calendari.

L'home del Neolític s'havia adonat que la longitud i la direcció de l'ombra d'un objecte canviava al llarg del dia. De seguida varen plantar un pal vertical al costat de casa (gnòmon) i van observar, que quan la longitud de l'ombra era mínima, sempre apuntava en la mateixa direcció: havien descobert la línia que marcava el migdia solar i que avui en dia es coneix com a **meridiana**.

Més endavant varen constatar que la longitud de l'ombra al mig dia també canviava: la màxima longitud coincidia amb períodes de fred (hivern), i feia calor (estiu) quan era mínima. Aquest cicle de màxima i mínima longitud d'ombra de migdia es repetia inexorablement. El que no se sabia és que cadascun d'aquests cicles coincidia amb el temps que la Terra trigava de donar una volta a l'entorn del Sol.

La forma canviant de la Lluna, el lloc variable de la sortida i la posta de Sol, l'aparició i desaparició de certs estels en l'horitzó, entre d'altres, li deien a l'home a quina època de l'any s'apropava^[2]. Els monuments megalítics *de Stonehenge*, *Carnac* i les taules de Menorca (Imatges 1, 2 i 3) són construccions que probablement van ajudar a fer aquestes observacions.



Imatge 1. Conjunt megalític de Stonehenge construït entre 2000 i 1500 a. C. Wiltshire (Anglaterra).

Es pensa que servia per tenir informació sobre l'inici de les estacions: només als equinoccis el Sol surt per l'Est i es pon per l'Oest. Al solstici d'estiu el Sol surt amb un desplaçament màxim cap al Nord, i al solstici d'hivern el desplaçament és cap al Sud.

<https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTW1sKDCKkFrU8udI-SQ5akUsZdEQzAvss-bmnqLpxtbwNXWb0Z>



Imatge 2. Conjunt megalític de Carnac. Bretanya francesa.

Les línies rectes determinades per les alineacions de menhirs assenyalaven els punts de l'horitzó per on s'esperava que aparegués o s'ocultés cert astre en una època concreta de l'any.

<https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSBFm381ySbx0IZ11pIk7ANibNETTGnttG4D-IZAov17CaJjuun>



Imatge 3. Taules de Menorca

Monument megalític de la cultura talaiòtica, de funció desconeguda.

http://laplacamadre.files.wordpress.com/2014/01/menorca_taula3.jpg

L'aparició de l'estel Sírius just abans de la sortida del Sol assenyalava el començament de l'estiu a l'antic Egipte, i la imminent crescuda anual del riu Nil que fertilitzava les terres de conreu de les quals depenia la seva agricultura.

La primera unitat de temps de l'home primitiu va ser "**el dia**" que venia marcat pel Sol. Per comptar períodes de temps més llargs es va fixar amb la Lluna: el cicle complet dels canvis aparents de la Lluna va ser en l'origen del "**mes**" i es va anomenar "**setmana**" a la quarta part del cicle lunar. Avui en dia, se sap que el mes lunar té 29'5306 dies. L'home primitiu això no ho sabia i va decidir que en tindria 29 o 30.

El concepte d' "**any**" va venir marcat per les estacions: quan tornava a créixer el Nil havia passat un any.

Totes les cultures (babilònica, egípcia, asteca, maia, indú, etc.) saben que l'any té 365 dies i que calia fer correccions de tant en tant.

L'home del Neolític necessitava dividir el temps entre el sortir i la posta del Sol. La divisió més antiga del dia és la distinció entre el dia i la nit. Però aquests períodes no són sempre iguals: només als equinoccis les hores de dia són iguals a les de nit. La divisió del dia en 24 hores, de les hores en 60 minuts, i dels minuts en 60 segons prové del sistema de numeració sexagesimal dels babilonis.

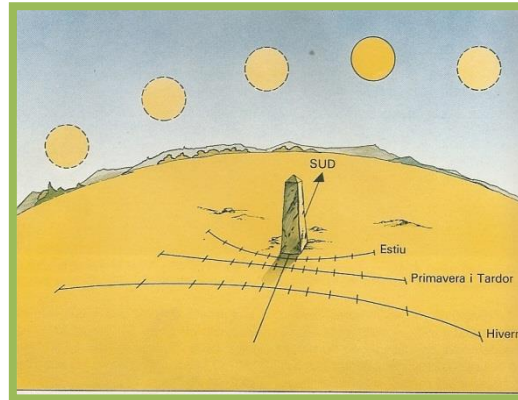
3.2. Com comptar les hores amb el Sol?

3.2.1. Els orígens

Els nostres avantpassats van observar que l'ombra d'un pal vertical (avui en dia conegut com a **gnòmon**) clavat verticalment a terra sobre una superfície horitzontal canviava de longitud i de posició des de la sortida fins a la posta de Sol^[3]. Es van adonar que l'ombra era més llarga com més a prop de la sortida o la posta del Sol, i era més curta al migdia solar. El primer rellotge de sol hauria pogut ser qualsevol objecte (arbre, roca, accident del terreny) capaç de projectar ombra. Sembla ser que a prop d' Oliana hi ha un penya-segat conegut amb el nom de "Roc de les hores"^[4] que permetia conèixer l'hora del dia a partir de la seva ombra.

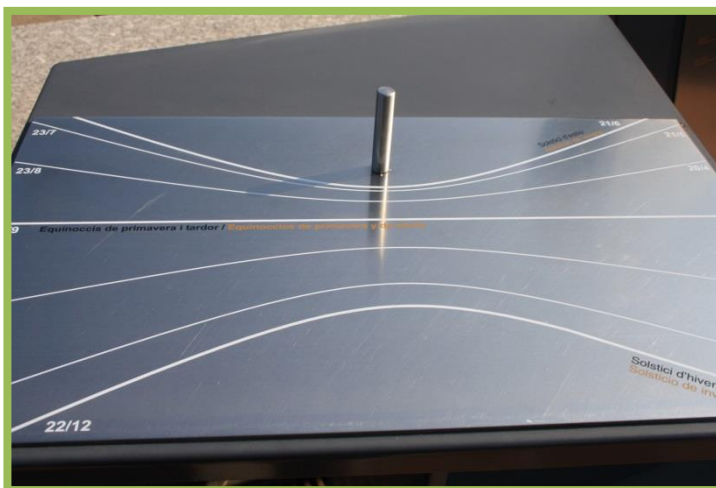
3.2.2. D'Egipte a Roma

Els egipcis al voltant de l'any 3500 a.C van plantar obeliscs (gnòmons) les ombres dels quals indicaven el migdia, el dia més llarg i el més curt de l'any. Posteriorment es van deure d'afegir més marques a la base de l'obelisc per dividir el dia en més parts, i acabaria essent en el temps l'origen de les hores (Imatge 4).



Imatge 4. Obelisc egipci. Els punts marcats al terra indiquen els llocs on va parar la punta de l'ombra al llarg de l'any [2].

De seguida es va observar que l'evolució de l'ombra al llarg d'un dia d'estiu era diferent a la de l'hivern i aquest fet es va utilitzar per construir els primeres calendaris solars. (Imatge 5) Així doncs, el gnòmón es podia utilitzar al mateix temps com a rellotge i com a calendari.

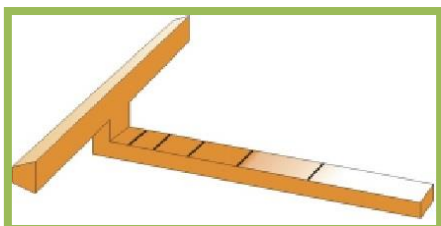


Imatge 5. Calendari solar. Museu Nacional de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya. (Terrassa). La posició de la punta de l'ombra dona informació sobre l'època de l'any, les estacions, els solsticis, els equinoccis

Hi ha dos autors antics que parlen de l'origen del rellotge de sol^[4]: Vitruvi i Plini, i no es posen pas d'acord quant a la seva invenció. Vitruvi explica que van ser els **caldeus** els inventors del rellotge de sol: concretament un tal **Arximandre**, deixeble de Tales de Mileto. Plini diu que l'invent és d'origen egipci, que fou descobert durant la dinastia dels Ptolomeus i que fou trobat per un tal Anaximenes, deixeble també del gran Tales de Mileto. De l'Egipte la troballa passà a la Grècia, d'on Papiriu la portà a Sicília i d'aquí passà a Roma que la perfeccionà i l'estengué per tots els pobles de l'imperi romà.

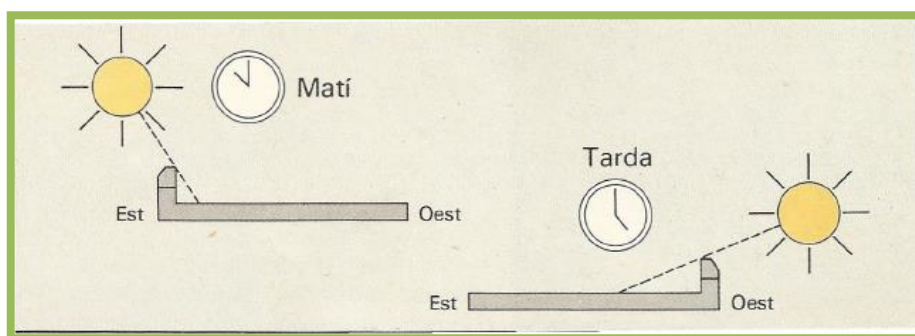
El més antic de tots els rellotges de sol, del qual en tenim un coneixement cert, és un rellotge que fou trobat a Egipte i construït en l'època de Tutmosis III (1500 a. C), que actualment es conserva al Museu Egipci de Berlín. Consisteix en dos llistons de fusta en forma de "T" (Imatge 6). El llistó més curt servia de gnòmon i el més llarg tenia gravats els signes de les hores. Per conèixer l'hora s'orientava el llistó superior (el curt) de nord a sud i el llistó de les hores cap al costat on es projectaven les ombres, és a dir, cap a l'oest abans del migdia i cap a l'est després del migdia (Imatge 7)

Aquest rellotge es troba al museu de Berlín



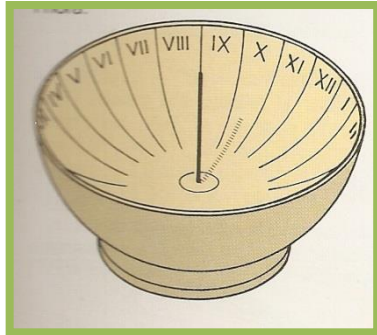
Imatge 6. Rellotge egipci. Dos llistons de fusta en forma de "T"

<http://relogiosdesol.blogspot.com.es/2008/11/um-pouco-de-historia-sculo-l-ao-i-aec.html>



Imatge 7. Funcionament del rellotge egipci ^[2]

Un altre tipus de rellotge era l'**hemicle** o **hemisferi** de l'astrònom caldeu **Berosus**, que probablement va viure cap als 800 anys a. C. Consistia en un hemisferi buit, col·locat amb la seva vora perfectament horitzontal, i proveït d'un estilet la punta del qual es trobava al centre. Tant de temps com el Sol es trobava damunt de l'horitzó, l'ombra de la punta queia a la part interior de l'hemisferi, i el camí de l'ombra durant el dia traçava aproximadament un arc circular. Aquest arc, dividit en 12 parts iguals, determinava dotze intervals de temps iguals per aquell dia. La posició de la punta de l'ombra ens diu l'hora. Aquestes parts iguals són anomenades **hores temporals**^[2], però com la durada d'hores de sol varia d'un dia a l'altre, les hores temporals d'un dia difereixen de les d'un altre dia. Les hores temporals, qualificades també de romanes, eren de llargada variable i eren dividides en quatre grups anomenats: **prima** (sortida del Sol), **tèrcia** (mig matí), **sexta** (migdia) i **nona** (mitja tarda).



Imatge 8. Rellotge hemisfèric caldeu^[2]

Podem suposar que els rellotges de sol emprats per grecs i romans són un perfeccionament de l' Hemisfèric caldeu. Els grecs els anomenaven "scaphe" (escafè), i els romans "hemispherium" (Imatge 8), malgrat que ja no eren la meitat d' una esfera, sinó la quarta part. Aquest canvi era degut a que l'ombra projectada pel gnòmon només es projectava, degut a la seva latitud, en una part de l'hemisferi.

Un escafè tenia traçats, dins de la seva superfície, tres arcs horitzontals que corresponien al recorregut de l'ombra de la punta del gnòmon durant el solstici d'estiu, els dos equinoccis i el solstici d'hivern. Un conjunt de línies perpendiculars als arcs constituïen les marques horàries (Imatge 9)

El gnòmon o agulla que produeix l'ombra i que manca a tots els exemplars localitzats, consistia en una vareta metàl·lica clavada horitzontalment en el punt d'intersecció de les línies horàries.

Cal també fer esment que els escafés foren també els primers rellotges de sol **que mesuraren l'hora segons la direcció** de l'ombra i **no**, com fins aleshores, **per la seva llargada.**

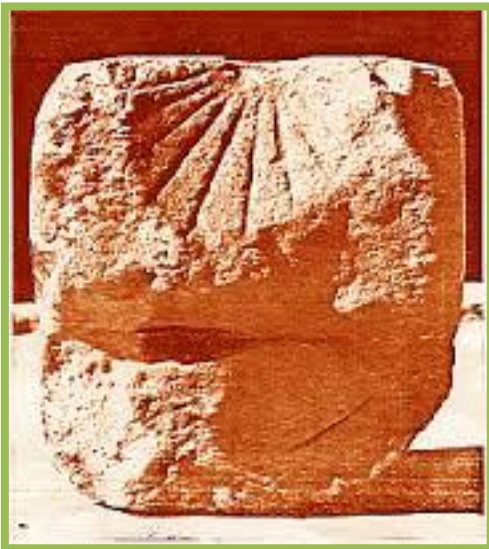
Pel que fa als romans, no van aportar cap novetat important i van limitar-se a copiar l'escafè grec, que ells anomenaren "hemispherium"(Imatges 9 i 10)



Imatge 9. Escafé romà. Castell- Ecomuseu Urbà de Rubí. Segle I-III d.C. Molt ben conservat

Té gravats els tres semicercles dels solsticis i dels equinoccis, i onze línies horàries que delimiten les 12 línies horàries

<http://www.gnomonica.cat/sols/gran/528.jpg>



Imatge 10. Rellotge hemisfèric romà. Vil·la romana del riu Corb. Guimerà (Lleida). Segle II a. C

Construït sobre un bloc de pedra. Consta de l' hemisferi horari i d' un peu en la part inferior. Hi falta el gnòmon però hi queden senyals del seu emplaçament. S'aprecia un arc semicircular prop del peu del gnòmon que recorda la forma i la col·locació del cercle corresponent al solstici d'hivern, encara que aquí es tracta d'un ornament.

<http://www.gnomonica.cat/index.php/gnomonica/rellotges-de-sol-romans-a-catalunya/36-escafe-de-guimera>

L'ús dels escafés no va impedir la utilització del gnòmon vertical en la forma de monòlits, columnes, bastons, etc.

Els romans van espoliar l'any 10 abans de Crist un gran obelisc procedent d'Heliòpolis i va ser traslladat a Roma, on en mans dels arquitectes romans es convertí en el gnòmon d'un gran rellotge de sol horitzontal construït en el Camp de Mart durant el govern d'August. Aquest obelisc es pot visitar en el centre de la plaça Montecitorio de Roma. (Imatge 11)



Imatge 11. Obelisc egipci

<https://mividacomounaromana.files.wordpress.com/2014/01/03-flaminio-egipcio.jpg>

3.2.3. Xina

Sembla ser que a la Xina^[4] del segle XI abans de Crist també s'utilitzava el gnòmon per determinar el migdia solar i les dates dels solsticis.

3.2.4. Cultures de l'Amèrica precolombina

Se sap que els asteques i els maies van desenvolupar un calendari molt exacte, la qual cosa pressuposa que tenien grans coneixements astronòmics del moviment del Sol i dels estels. Malgrat tot això no es coneix cap rellotge de sol d'aquestes cultures.

3.2.5. Els àrabs i l'Edat Mitjana

Els àrabs van perfeccionar la construcció de rellotges de sol a partir dels seus avenços matemàtics i astronòmics. Sembla ser que l'avenç més important fou la col·locació del **gnòmon paral·lel a l'eix de rotació** de la Terra. Això va permetre que els rellotges assenyalessin tot l'any les hores d'una **durada constant** convertint-los realment en instruments de mesura. (Imatge 12) De tota manera aquesta manera de col·locar el gnòmon no fou emprada per la majoria fins el segle XV.



Imatge 12. Rellotge de sol àrab. Façana de la catedral de Terol. S XIII.

<http://www.arauco.org/SAPEREAUDE/optica/imgs/relojdesol/Teruelg.jpg>

Utilitzen per primer cop la funció sinus d'un angle com a mesura trigonomètrica i varen perfeccionar l'**astrolabi**. Abu'l Nassan, que visqué al començament del segle XIII de la

tretzena centúria, els ensenyà a traçar rellotges sobre superfícies cilíndriques, còniques i altres.

Durant l'Edat Mitjana, tot i que el coneixement astronòmic va créixer, sobretot al voltant d'Alfons X, no hi va haver cap aportació remarcable en el traçat dels rellotges. De tota manera Alfons X començà els seus "Cinc llibres sobre rellotges" fent una descripció del rellotge de sol, conegut vulgarment com a la "pedra de l'ombra".

Fins al segle XI els rellotges consistien en pedres horitzontals amb el gnòmon vertical. Llavors començaren a aparèixer els primers rellotges verticals en les parets d'esglésies i monestirs, per indicar les hores de les oracions canòniques diürnes. Més endavant els rellotges de sol ja van incloure la totalitat de les 12 hores.

A partir del segle XIII, el corrent humanista es va expandir ràpidament per Europa i es va iniciar un llarg període en que la gnomònica va assolir el seu màxim esplendor i reconeixement. Els rellotges verticals estaven presents en nombrosos edificis públics, castells i catedrals.

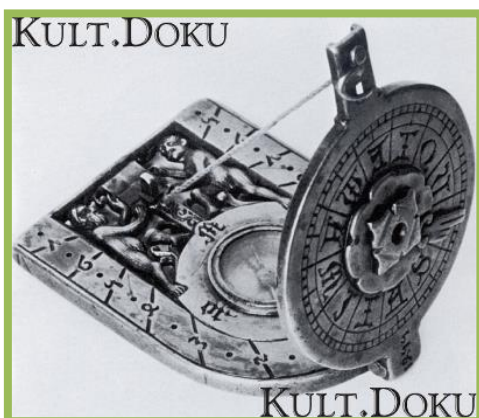
Un dels rellotges medievals més antics de Catalunya es troba a l'església de Santa Maria de Rubió i ha estat estudiat per Manel Mir^[6] (Imatge 13).



Imatge 13. Rellotge de Sol medieval de Santa Maria de Rubió (Anoia). Pertany a l'època del Reis Catòlics.

<http://www1.diba.cat/libreria/pdf/52295.pdf>

També van tenir molt d'èxit els rellotges de sol portàtils, que són els que estan més ben conservats per no haver estat exposats a la intempèrie (Imatge 14)



Imatge 14. Rellotge de sol portàtil de gnòmon polar en forma de díptic.

Landesmuseum Joanneum. Graz (Àustria)

<http://wwwg.uni-klu.ac.at/kultdoku/kataloge/21/bilder/283.jpg>

Se sap que un rellotge de torre (rellotge mecànic) fou col·locat a Milà el 1336, i que l'ús d'aquests tipus de rellotge es va generalitzar entre els segles XIV i XV.

3.2.6. Fins als nostres dies

Va ser al llarg dels segles XVI i XVII quan majestuosos i sofisticats rellotges de sol foren col·locats en immensos palaus i esglésies. L'art de construir rellotges de sol esdevé en un nou ofici anomenat **quadranter**. Es comencen a fer rellotges de sol de totes menes i en tots els materials possibles.

A mitjans del segle XVI comencen a sortir els primers rellotges mecànics i no anaven gens bé: s'avançaven o endarrerien al voltant d'una hora al dia. És al llarg del XVII quan es van perfeccionant aquests enginys, i mica en mica, van aconseguint un funcionament més acurat. De tota manera aquests rellotges eren molt cars. Tothom que tenia un rellotge mecànic en tenia també un de sol per tal de posar el primer en hora.

En el segle XVIII els rellotges de torre i de butxaca començaren a fer desaparèixer els de sol, que caigueren gradualment en desús.

3.3. Moviment de translació de la Terra: les estacions

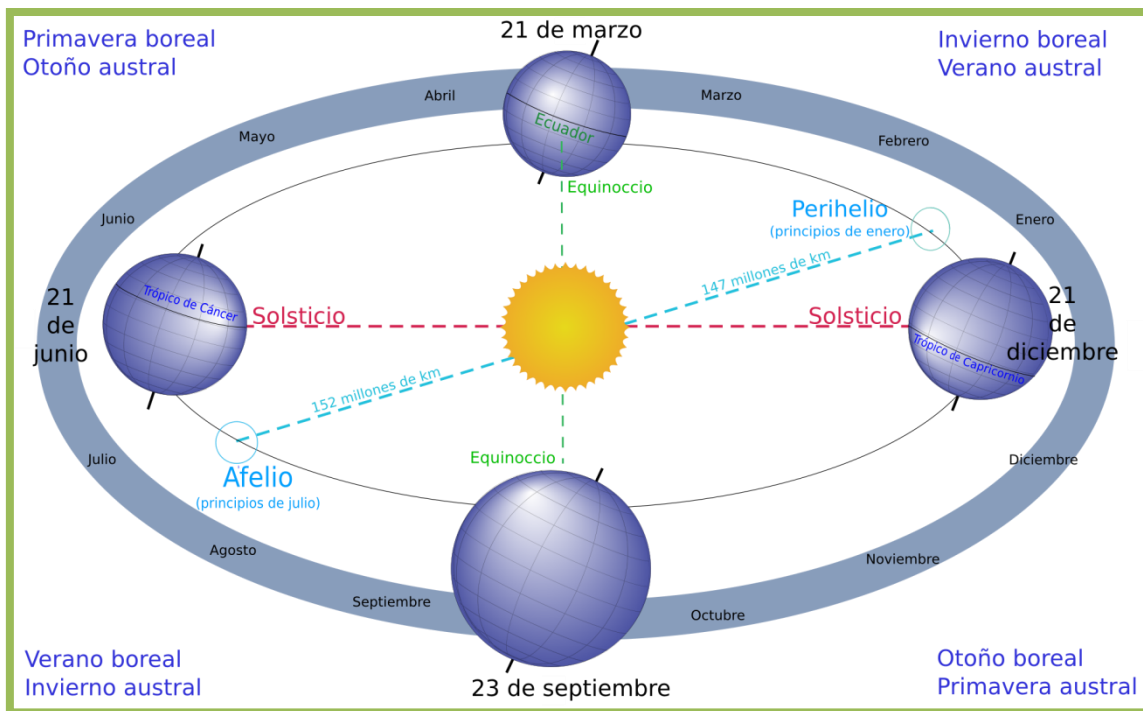
El moviment de rotació de la Terra sobre el seu eix origina el dia i la nit. La Terra no només gira, sinó que també té un moviment de translació descrivint una òrbita el·líptica molt poc excèntrica al voltant del Sol, el qual està situat en un dels seus focus. L'eix de rotació de la Terra està inclinat $23,5^\circ$ respecte a la línia perpendicular al **pla de l'eclíptica** (pla que conté l'òrbita de la Terra).



Imatge 15. L'equador celeste forma un angle de $23,5^\circ$ amb l'eclíptica

<http://personales.unican.es/gonzalmi/ssolar/articulos/imagenes/ecliptica.gif>

La combinació del moviment de translació de la Terra, i el fet que el seu eix estigui inclinat, origina les **estacions** ^[7] (Imatge 16).



Imatge 16. El moviment de translació de la Terra i la inclinació del seu eix produeixen les estacions
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f5/Estaciones_del_a%C3%B1o.png

El 21 de juny és el **solstici d'estiu boreal** o **solstici d'hivern austral**: el pol nord terrestre està inclinat cap al Sol. La declinació del Sol, δ , té el seu valor màxim ($23^{\circ} 27'$) (Imatge 17). En aquestes condicions, la llum solar cau quasi perpendicular sobre les regions de l'hemisferi nord terrestre, i molt inclinada a l'hemisferi sud. Això es pot justificar a partir de l'equació:

$$h = 90^{\circ} - \varphi + \delta$$

(h = altura del Sol al migdia , φ = latitud del lloc , δ = declinació del Sol)

A més, el Sol **brilla molt alt** en el cel dels països del nord (Imatge 19) i roman moltes hores per sobre de l'horitzó: és el dia més llarg de l'any. L'ombra del gnòmon és més curta que mai. (Imatge 20).

Els punts de la Terra situats sobre el **tròpic de càncer** (paral·lel de latitud, $\varphi = 23,5^{\circ}$) reben la llum del Sol perpendicular al migdia solar:

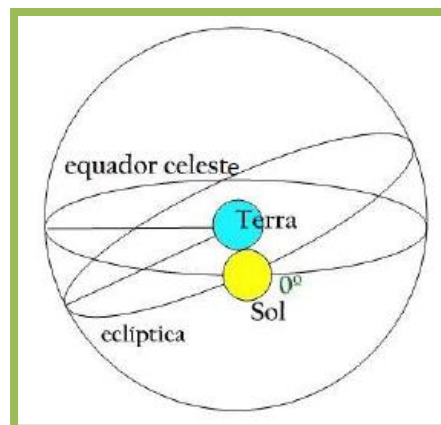
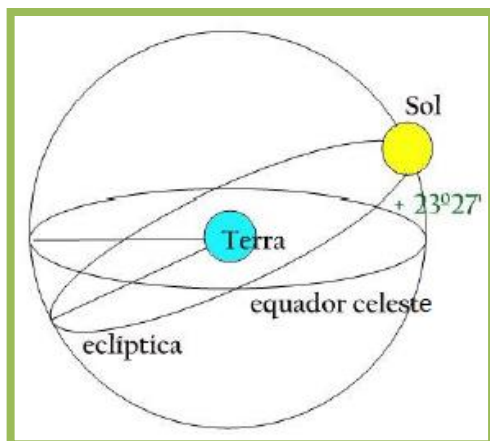
$$h = 90^{\circ} - 23,5^{\circ} + 23,5^{\circ} = 90^{\circ}$$

En determinades latituds molt properes al pol nord, el Sol no es pon mai. Al sud, ans el contrari, les nits són llargues. A prop del pol sud, en aquestes dates mai surt el Sol, sempre és de nit

El 21 de desembre la Terra es troba en el **solstici d'hivern boreal** o **solstici d'estiu austral**. Els dies de llum són curts al nord i llargs al sud. La declinació del Sol és de $-23^{\circ} 27'$ i brilla a una altura mínima (Imatge 20). La llargada de les ombres d'un gnòmon serà màxima (Imatge 20). Els punts de la Terra situats sobre el tròpic de

capricorn (paral·lel de latitud, $\phi = -23,5^\circ$) també reben la radiació solar perpendicularment al migdia solar:

$$h = 90^\circ - (-23,5^\circ) - 23,5^\circ = 90^\circ$$



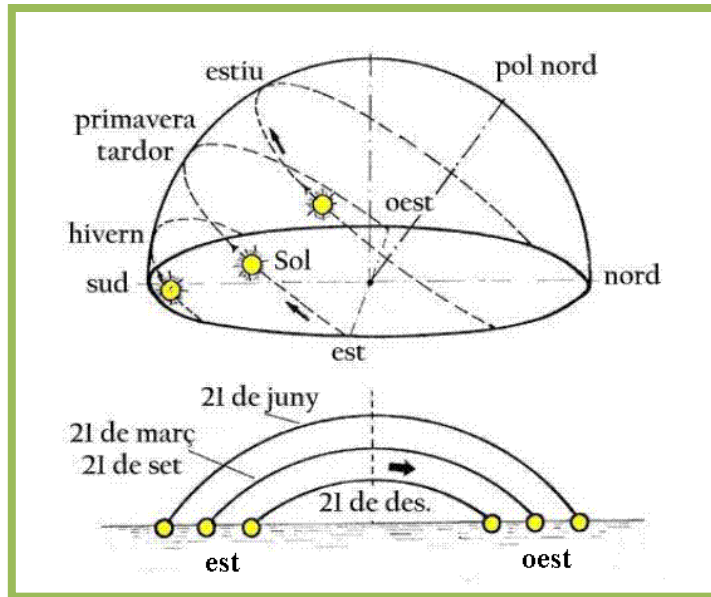
Imatge 17. Al solstici d'estiu la declinació del Sol és màxima ($23^\circ 27'$)^[8]

Imatge 18. A l'equinocci de primavera la declinació del Sol és 0° perquè es troba a l'equador celeste^[8]

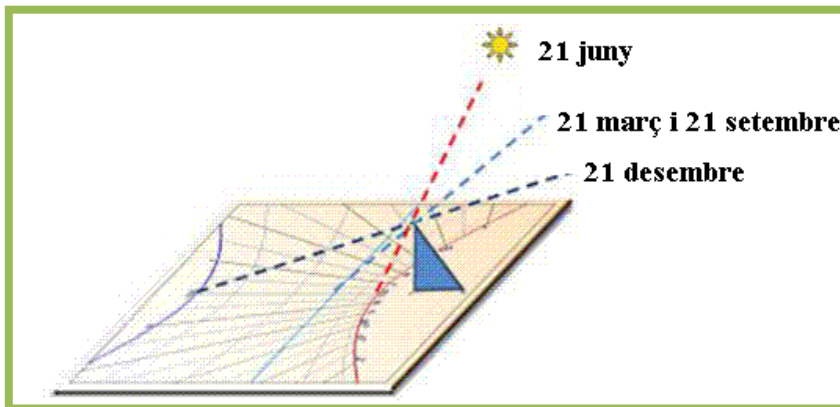
Els dos dies d'**equinocci** (21 de març i 23 de setembre) són els moments de l'any en que els dies són iguals que les nits. Aquests dies els dos pols de l'eix de rotació de la Terra es troben a la mateixa distància del Sol la qual cosa fa que estiguin igualment il·luminats tant l'hemisferi nord com e l'hemisferi sud. El cercle que separa el dia i la nit segueix un meridià terrestre. La declinació del Sol és 0° (Imatge 18) perquè es troba en un dels punts d'intersecció de l'equador celeste. Els rajos del Sol incideixen al migdia solar perpendicularment sobre l'equador:

$$h = 90^\circ - 0^\circ + 0^\circ = 90^\circ$$

El 21 de març comença la **primavera boreal** (nord) i la **tardor austral** (sud). En aquestes condicions el Sol surt per l'est i es pon per l'oest. (Imatge 17). Els pols estan sotmesos a un crepuscle permanent. El 23 de setembre comença la tardor boreal (al nord) i la primavera austral (al sud).



Imatge 19. Moviment aparent del Sol durant el dia en les diferents estacions. L'alçada del Sol és màxima al solstici d'estiu i mínima al d'hivern. El dia dels equinoccis el Sol surt per l'est i es pon per l'oest^[8].



Imatge 20. Variació de la longitud de l'ombra d'un gnòmon en les diferents estacions.
Font: Programa Shadows

3.4. L'esfera celeste des de l'interior

Per entendre el moviment aparent del Sol des de l'interior de l'esfera celeste va molt bé construir-se un model d'horitzó local que representi l'esfera celeste des de dins. Per construir aquest model se segueix els següents passos:

1. Fotografies de l'horitzó local

Es fan un conjunt de fotografies de l'horitzó per tal d'aconseguir una imatge panoràmica de 360°. Això s'aconsegueix imprimint les fotografies i fixant-les una a continuació de l'altra, fins a formar un cilindre que es correspongui amb l'horitzó local (Imatge 21).



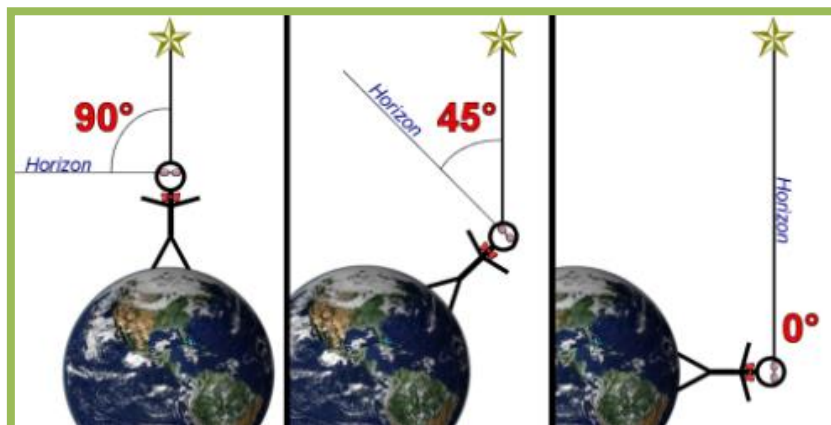
Imatge 21. Construcció de l'horitzó local ^[9]

2. Eix de rotació terrestre o eix del món

Es clava un filferro al centre d' una fusta plana de tal manera que la seva direcció apunti a l'estrella polar. La inclinació de l'eix coincideix amb l'altura de la polar sobre l' horitzó, i en el nostre cas coincideix també amb la latitud de Lleida 41,5° (Imatges 22 i 23).



Imatge 22. Eix de rotació del món ^[9]



Imatge 23. L'altura de la polar coincideix amb la latitud del lloc on es fa l'observació.

<http://logosconcarne.files.wordpress.com/2011/08/north-star-angles.png?w=490&h=245>

3. Meridià del lloc

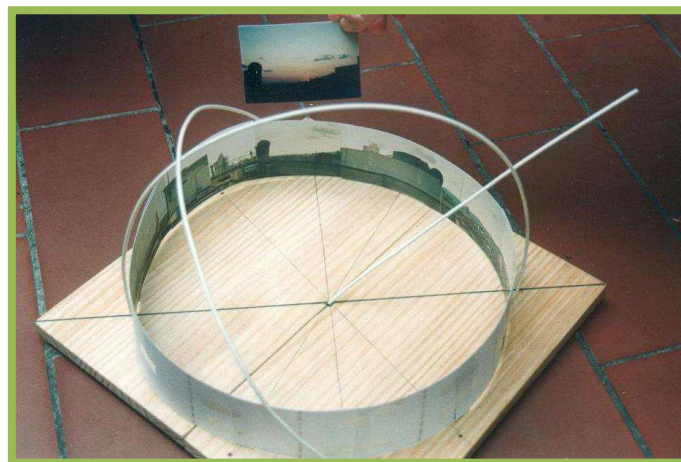
El següent pas consisteix a situar el meridià del lloc. Fixarem un filferro en forma semicircular que passi per sobre del cap de l'observador (el zenit), i pels punts cardinals Nord i Sud (Imatge 24).



Imatge 24. Fixació del meridià local ^[9]

4. Equador celeste

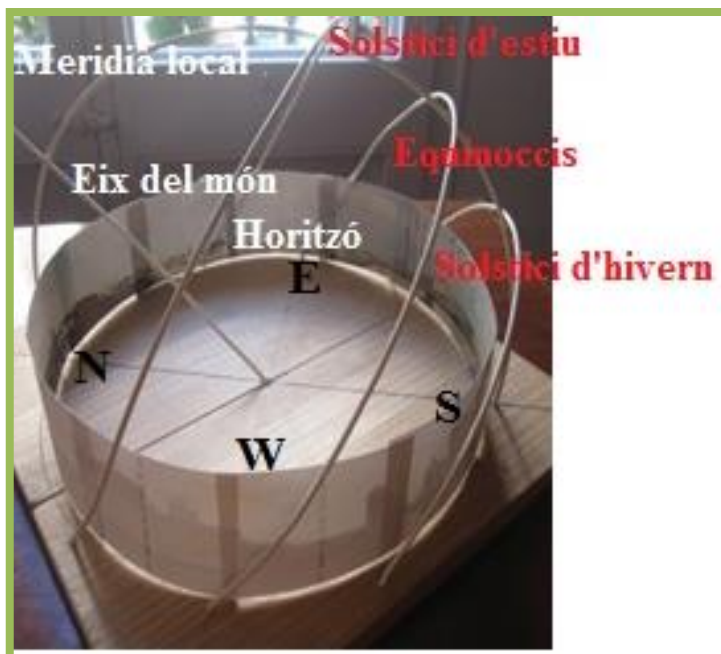
L'equador celeste se simula mitjançant un filferro perpendicular a l'eix de rotació terrestre (eix del món) que comença i acaba als punts cardinals est i oest, sobre el pla de fusta que simula l'horitzó (Imatge 25). El Sol es desplaça per l'equador celeste només els dies de l'equinocci de primavera i de tardor. El Sol només surt per l'est i es pon per l'oest els dies de l'equinocci.



Imatge 25. Fixació de l'equador celeste.

5. Paral·lels de Càncer i Capricorn

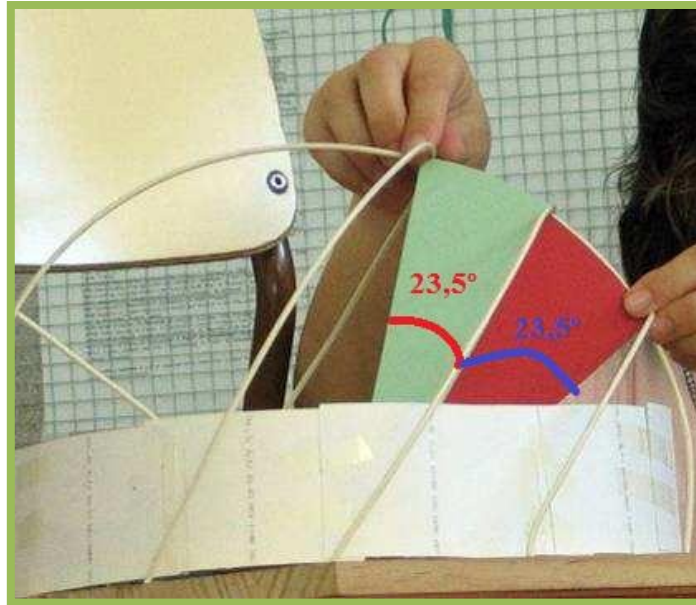
Es fixen dos filferros semicirculars paral·lels a l'equador celeste passant pels punts de sortida i posta del Sol a l'inici de l'hivern i de l'estiu. D'aquesta manera s'ha construït un model que simula el moviment aparent del Sol durant el primer dia d'estiu (paral·lel de Càncer) i primer dia d'hivern (paral·lel de Capricorn). (Imatge 26)



Imatge 26. L'esfera celeste des de l'interior. Trajectòries del Sol el primer dia de cada estació ^[9]

El Sol surt el primer dia de primavera per l'Est i es pon per l'Oest desplaçant-se per l'equador celeste. El segon dia de primavera surt prop de l'Est, però una mica cap al Nord, recorre un paral·lel una mica més alt que l'equador i es posa prop de l'Oest, però més cap al Nord. El tercer dia arriba encara més alt, etc... Això segueix així fins al primer dia d'estiu que es quan assoleix la màxima altura sobre l'equador ($23,5^\circ$) i quan surt més cap al Nord per aquest lloc. El segon dia el Sol recorre un paral·lel una mica més baix, i així successivament va baixant, i sortint i posant-se per punts que es van apropant a l'Est i l'Oest respectivament fins a arribar al primer dia de tardor quan el Sol repeteix un recorregut per l'equador i surt per l'Est i es pon per l'Oest. El segon dia de tardor, el Sol recorre un paral·lel per sota de l'equador i surt prop de l'Est, però una mica cap al Sud, i es pon prop de l'Oest també una mica cap al Sud. Així successivament va sortint i es va ponent més cap al Sud i recorrent paral·lels cada cop més baixos respecte l'equador, fins arribar el primer dia d'hivern, en el que segueix el paral·lel que està a $-23,5$ graus de l'equador. El segon dia d'hivern el Sol comença a pujar una altra vegada i així lentament arriba al primer dia de primavera en el que torna a recórrer l'equador.

Amb un transportador es pot comprovar que l'angle interior entre el paral·lel de Càncer i l'equador és aproximadament de 23° , i aquest angle també està comprès entre l'equador i el paral·lel de Capricorn (Imatge 27)

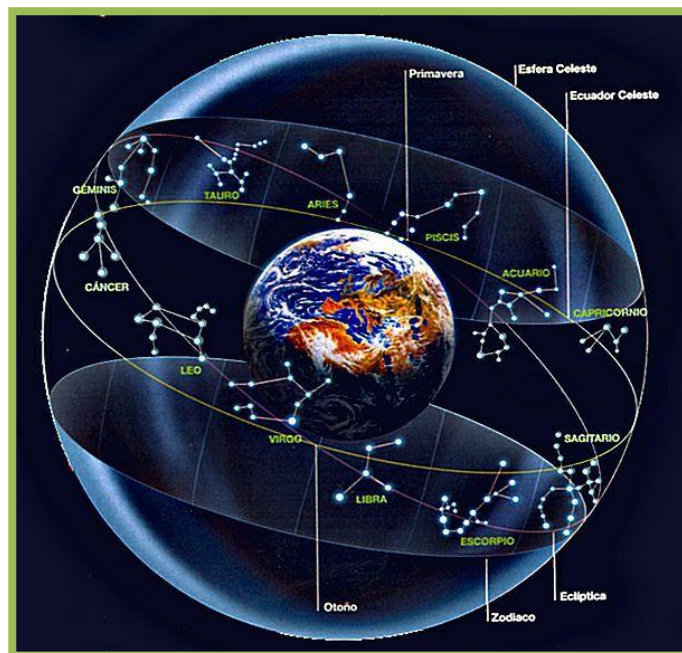


Imatge 27. Trajectòria del Sol el primer dia de cada estació^[9].

Els punts de sortida i posta no coincideixen. Només ho fan els dos dies dels equinoccis. L'angle entre dues trajectòries del primer dia de dues estacions consecutives es aproximadament de 23°

3.5. El zodíac

Ja en el segle V a. C, els babilònics havien identificat la trajectòria aparent que descrivien el Sol, la Lluna i els planetes: l'eclíptica. Juntament amb els grecs, van dividir-la en 12 parts iguals on s'hi troben les 12 constel·lacions del zodíac (Imatge 28) La paraula zodíac vindria a dir "el camí que segueixen els animals". De fet les 12 constel·lacions del zodíac representen mitològicament un animal.



Imatge 28. El zodíac.

<http://www.carmemas.cat/diccionari/imatges-diccionari/constel-lacio-del-zodiac.jpg>

Les dotze constel·lacions amb les declinacions corresponents apareixen en la taula següent:

Símbol	Línia zodiacal	Declinació	Data aproximada
♈	Aries	$\delta = 0^\circ$	21 març
♉	Taurus	$\delta = 11.5^\circ$	21 abril
♊	Gemini	$\delta = 20^\circ$	21 maig
♋	Cancer	$\delta = 23.5^\circ$	21 juny
♌	Leo	$\delta = 20^\circ$	21 juliol
♍	Virgo	$\delta = 11.5^\circ$	21 agost
♎	Libra	$\delta = 0^\circ$	21 setembre
♏	Scorpius	$\delta = -11.5^\circ$	21 octubre
♐	Sagittarius	$\delta = -20^\circ$	21 novembre
♑	Capricornius	$\delta = -23.5^\circ$	21 desembre
♒	Aquarius	$\delta = -20^\circ$	21 gener
♓	Pisces	$\delta = -11.5^\circ$	21 febrer

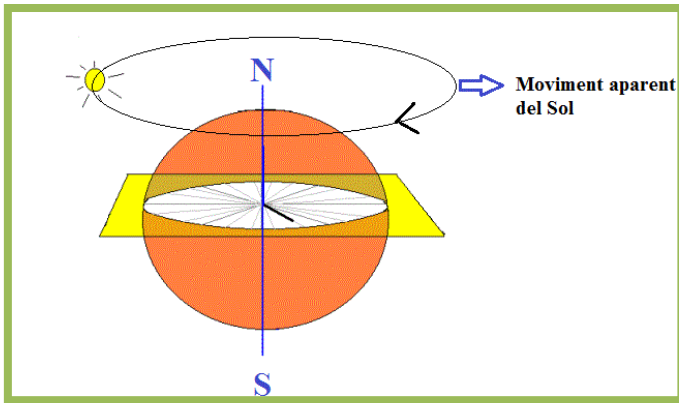
Declinacions aproximades del Sol per a cada mes, al començament de cada període zodiacal. ^[10]

3.6. Els rellotges de sol

3.6.1. Fonaments

Hem vist en l'apartat anterior que el Sol des de que surt fins que es pon descriu un semicercle resseguint un paral·lel celeste pel que sembla avançar regularment, al igual que tots els astres de l'esfera celeste. El Sol dona una volta completa (360°) en un dia (24 hores), amb la qual cosa gira 15° en una hora, així com també ho fa l'esfera celeste al voltant de l'eix del món. Si col·loquem un bastó paral·lel a l'eix del món (gnòmon), i un pla perpendicular al bastó, les ombres d'aquest avançaran sobre el pla amb la mateixa regularitat que el bastó: cada hora l'ombra es desplaçarà 15° (Imatge 29).

Aquest és el fonament de tots els rellotges de sol, i en particular, del més senzill de tots: **l'equatorial.**

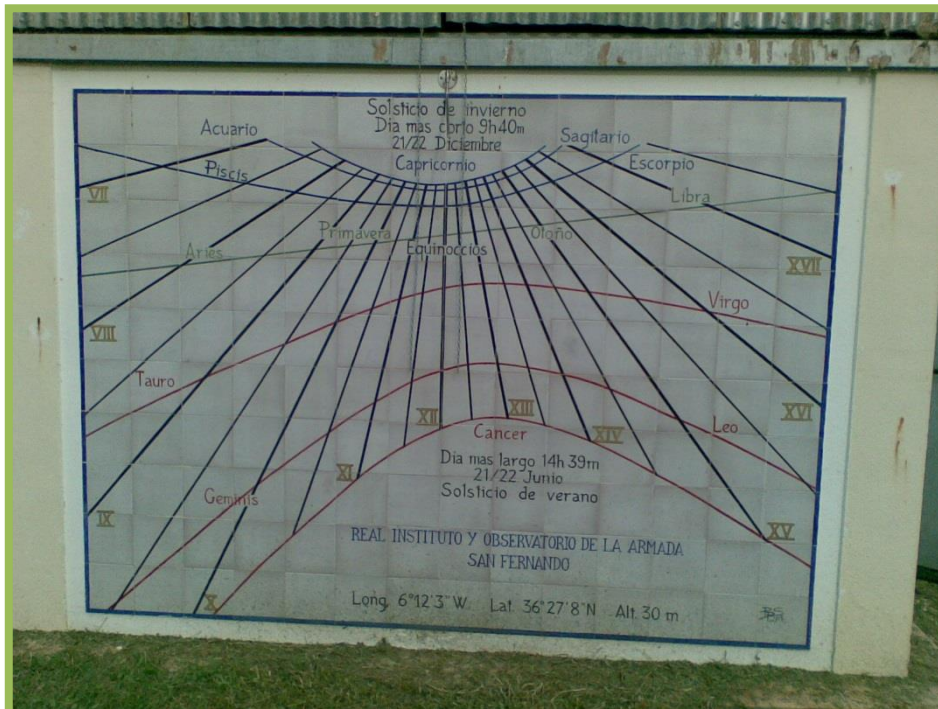


Imatge 29. Fonament del rellotge de sol equatorial.

L'ombra d'un gnòmon col·locat en una direcció paral·lela a l'eix de rotació de la Terra es desplaça 15° en 1 hora sobre un pla paral·lel a l'equador.

3.6.2. Línies horàries i zodiacals

El rellotge de sol no només indica l' hora, sinó que ens pot facilitar informació sobre l'època de l'any, les estacions, els solsticis, els equinoccis, etc. Tota aquesta informació ens la proporciona les **línies horàries** i les **línies zodiacals** (Imatge 30)



Imatge 30. Rellotge de sol del "Real Instituto de la Armada de San Fernando". Quan la punta de l'ombra coincideix amb les línies corbes del rellotge (**línies zodiacals**), a més de l' hora, proporciona informació sobre l'època de l'any....

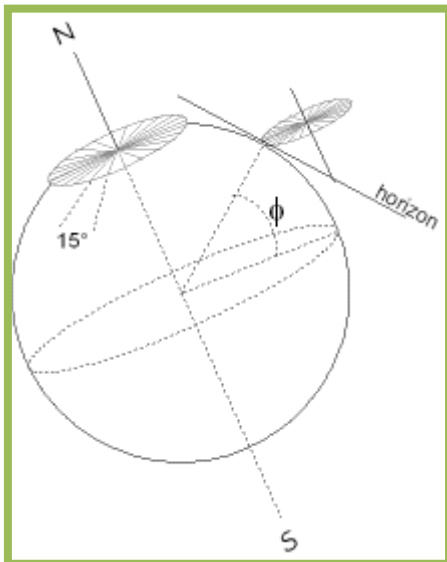
Les línies horàries són línies rectes que parteixen de la base del gnòmon, i indiquen l'evolució diürna de l'ombra del Sol. Estan numerades freqüentment en números romans.

Les línies zodiacals marquen el recorregut de l'extrem de l'ombra al llarg d'un dia. Cada dia el Sol projecta una ombra de longitud diferent en funció de la seva declinació. Cadascuna d'aquestes línies té assignat un dels 12 signes del zodíac d'on prenen el nom.

De tota manera, les línies zodiacals més importants són: **la línia solsticial d'estiu** (descriu la trajectòria que ressegueix la punta de l'ombra del gnòmon el dia 21 de juny i es correspon amb el signe de Cancer), la **solsticial d'hivern** (Capricorn), i **l'equinocial** (línia recta que segueix la punta de l'ombra el 21 de març i el 21 de setembre) marquen la data d'entrada del Sol en les constel·lacions d'Aries i Libra.

3.6.3. Relotge equatorial

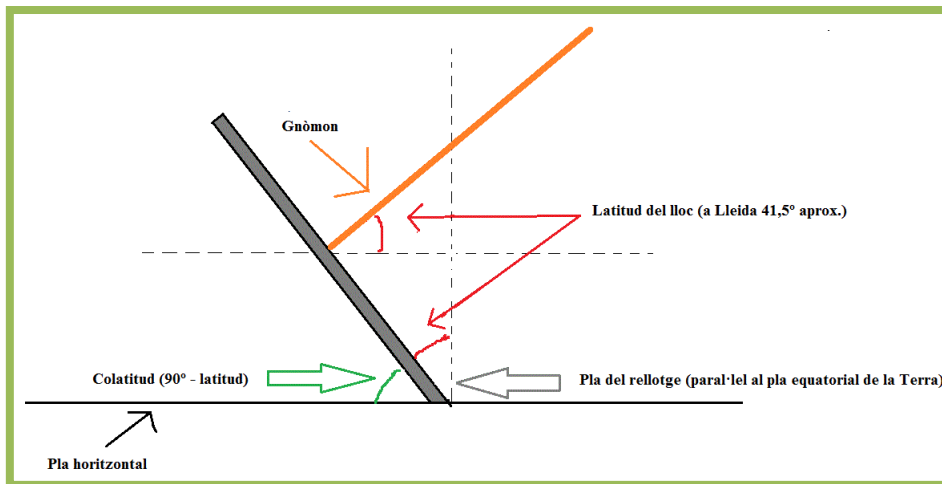
Aquest tipus de rellotge es caracteritza per posseir el gnòmon paral·lel a l'eix de rotació terrestre (eix del món), apuntant al pol nord (o pol sud en el cas de construir-se a la zona austral) i perpendicular a la superfície horària (Imatge 30). D'aquesta manera les dues cares de la superfície horària queden paral·leles a l'equador celeste. Les hores estan marcades a intervals regulars de 15° ($24 \text{ hores} \times 15^\circ = 360^\circ$) (Imatge 33).



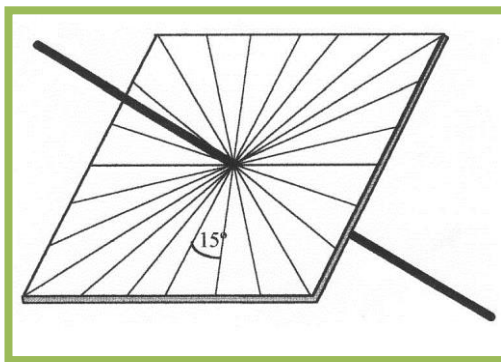
Imatge 31. Relotge equatorial situat en un lloc de latitud ϕ .

<http://www.wsanford.com/~wsanford/exo/sundials/equat1.gif>

La manera d'aconseguir que el gnòmon apunti a l'estrella polar és inclinant la superfície horària un angle igual a 90° - la latitud, respecte l'horitzontal. Aquest angle s'anomena **colatitud** (Imatge 32).

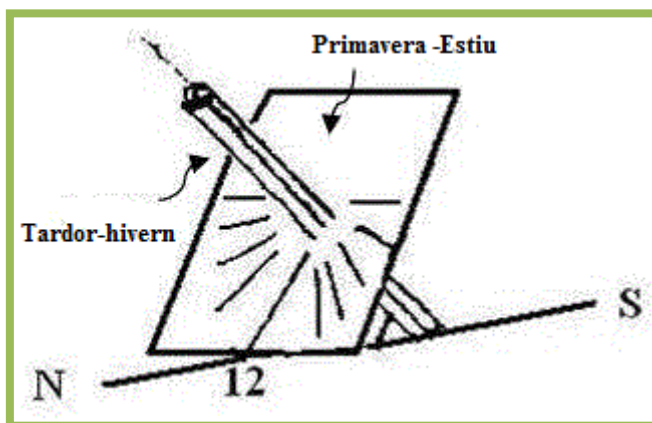


Imatge 32. Colatitud



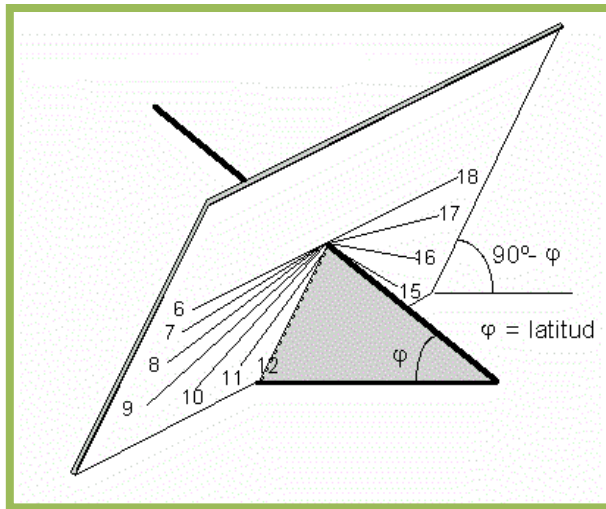
Imatge 33. Rellotge equatorial.^[11]
Les 24 línies horàries estan separades un angle de 15°

A l'estiu el Sol està per damunt de l'equador celeste, amb la qual cosa només hi haurà ombra a la cara superior; a l'hivern, en estar el Sol per sota de l'equador, l'ombra es projectarà a la cara inferior (Imatges 34 i 35).



Imatge 34. Rellotge equatorial^[11]

A la primavera i a l'estiu, l'ombra del gnòmon es projecta sobre la superfície superior, mentre que a la tardor i a l'hivern, a la inferior.



Imatge 35. Rellotge equatorial situat en un lloc de latitud φ ^[11].

L'ombra es projecta sobre la cara de sota. La inclinació de la superfície horària és $90^\circ - \varphi$ (**colatitud**)

Aquest tipus de rellotge no funcionarà els dos dies d'equinoccis, perquè el Sol està situat a l'equador celeste i la llum no incidirà en l'estil del rellotge..

Aquest rellotge és molt interessant pel seu valor didàctic, per la seva senzillesa en el disseny i per la manera de com permet visualitzar d'una manera lògica el recorregut del Sol. Malgrat tot això no sol aparèixer mai ni en les façanes de les cases i esglésies, ni com a element decoratiu en places i jardins.

En aquest tipus de rellotge és molt fàcil d'entendre el dibuix de les línies horàries o la col·locació de l'estil (gnòmon).

Té l'inconvenient que en dates properes als equinoccis és impossible llegir l'hora perquè l'ombra es projecta en la direcció del pla de la superfície horària i no es veu l'ombra. A més, a la tardor i a l'hivern per llegir l'hora és molt incòmode tenir que mirar per sota de la superfície horària, i si algú no entén massa de rellotges li podria semblar que no funciona.

Hem començat explicant aquest model de rellotge perquè els mètodes geomètrics per dibuixar les línies horàries dels altres rellotges de Sol, així com les fórmules trigonomètriques, es dedueixen a partir del rellotge equatorial.

3.6.4. Rellotge de Sol horitzontal

En el cas dels rellotges de sol horitzontals la superfície sobre la qual es projecta l'ombra és un pla horitzontal, i acostumen estar col·locats com a element decoratiu en places i jardins, dibuixant-se les línies horàries sobre el terra.

L'angle que forma el gnòmon amb l'horitzó és la latitud del lloc (Imatges 36, 37).



Imatge 36. Rellotge de Sol horitzontal a la rotonda de l'EOI de Lleida

https://c1.staticflickr.com/3/2460/5811126521_1ede3e17c5_z.jpg

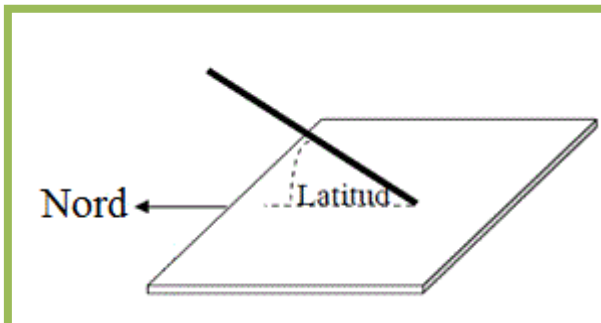
L'avantatge d'aquest tipus de rellotge és que són els únics de superfície plana que recullen les hores de Sol de qualsevol dia de l'any. Això sempre i quan hi hagi Sol.

El gnòmon no és perpendicular al pla on es projecta l'ombra, tal com succeïa en els rellotges equatorials.

A més, com veurem tot seguit, en aquests rellotges les línies horàries no són equidistants, i el principal problema consisteix en determinar aquestes línies.

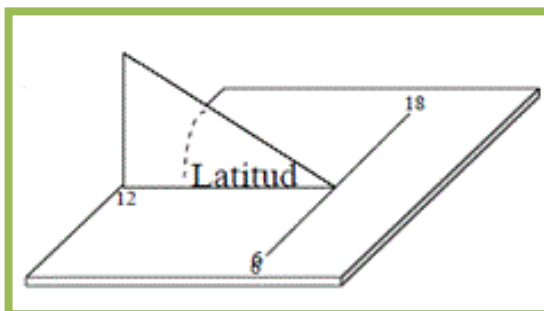
El gnòmon i les línies horàries

A l'hora de construir aquest tipus de rellotge el que cal fer primer, abans de col·locar el gnòmon, és dibuixar les línies horàries.



Imatge 37. Rellotge horitzontal amb el gnòmon encarat al nord i perpendicular al pla^[11].

En un principi es pot començar dibuixant les línies de les 6, les 12 i les 18 hores (Imatge 38)

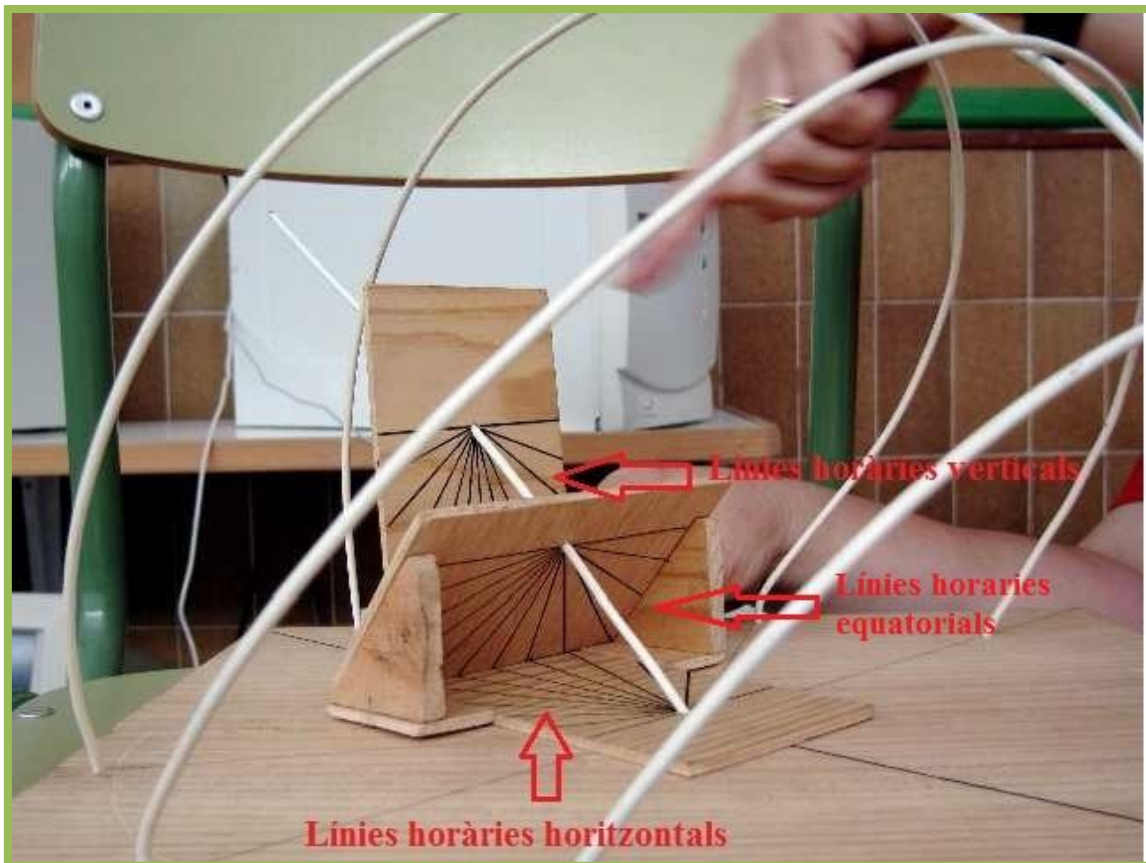


Imatge 38. Rellotge horitzontal amb les línies horàries de les 6, 12 i 18 hores.^[11]

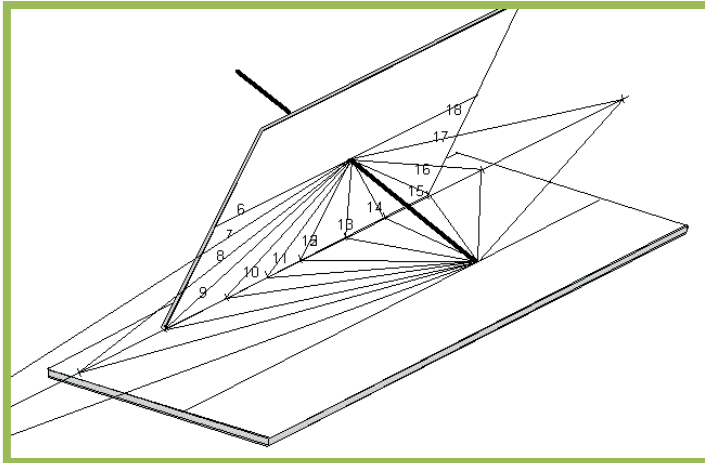
Per dibuixar la resta de les línies horàries, es pot fer, o bé per projecció geomètrica de les línies horàries d' un rellotge equatorial que comparteix el gnòmon amb un d' horitzontal, o bé utilitzant fórmules trigonomètriques.

Mètode geomètric

Primer de tot cal construir un rellotge equatorial. Aquest es col·locarà sobre un pla horitzontal de tal manera que comparteixin el mateix gnòmon (Imatges 39 i 40).



Imatge 39. Dibuix de les línies horàries en un rellotge horitzontal i en un de vertical per projecció geomètrica de les línies d' un rellotge equatorial que comparteix gnòmon^[12].

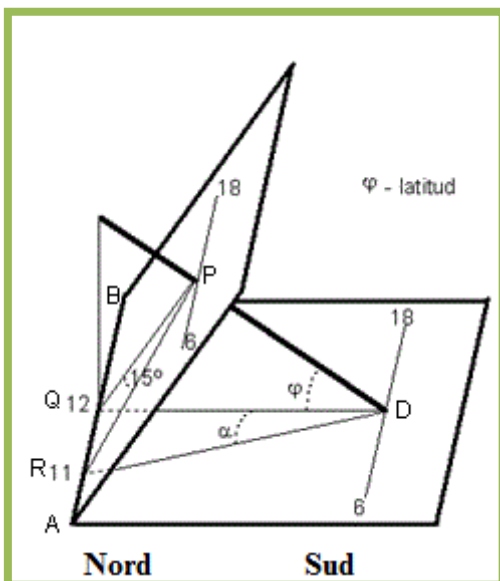


Imatge 40. Dibuix de les línies horàries d' un rellotge horitzontal per projecció geomètrica a partir d'un equatorial^[11]

La línia de les 6-18 no es pot obtenir per aquest mètode, i queda perpendicular a la línia de les 12 tal com s' ha esmentat abans.

Mètode matemàtic

L'altra manera de dibuixar les línies horàries consisteix en calcular, a partir de fórmules trigonomètriques^[11], l'angle, α , comprés entre la línia de les 12 i la de les 11, i per simetria entre les 12 i les 13. Aquest càlcul es farà tenint en compte la latitud, ϕ (Imatge 41).



Imatge 41. Mètode trigonomètric^[11]

La línia de migdia (12 hora solar) es dibuixa en direcció Nord – Sud a partir de la base del gnòmon (tot això a l'hemisferi Nord). La resta de línies es dibuixen calculant l'angle, α , a partir de la fórmula:

$$\alpha = \text{arc tg} (\sin (\phi) \cdot \text{tg } 15^\circ)$$

Si $\phi = 41,5^\circ$ (latitud de Lleida), trobem que l'angle comprés entre les línies horàries de les 11 i les 12, i per simetria entre les 12 i les 13 és:

$$\alpha = \arcsin (\sin (41,5^\circ) \cdot \sin 15^\circ) = 10,07^\circ$$

Per a les següents línies en lloc de 15° se substitueix per 30° , 45° , 60° ... D'aquesta manera es calculen els angles que la línia central de les 12 forma amb les 10, les 9, les 8, etc. I com és lògic, aquests mateixos angles serveixen per les hores de la tarda i es dibuixen per simetria.

L'inconvenient més gran dels rellotges horitzontals és que els angles entre les línies horàries depenen de la latitud. Amb la qual cosa, si canviem de latitud, no només canvia la inclinació del gnòmon, sinó que també canvia la situació de les línies horàries.

Línies horàries	angle α
11 – 12 / 12 - 13	10,07°
10 – 12 / 12 - 14	19,35°
9 – 12 / 12 - 15	33,52°
8 – 12 / 12 - 16	58,07°
7 – 12 / 12 - 17	67,98°
6 - 12 / 12 - 18	90°

3.6.5. Rellotge de sol vertical

Són els més abundants, sobretot en les façanes d'algunes esglésies i cases antigues. Segons l'orientació de la paret funcionaran més o menys hores i en una o altra part del dia. Cap d'aquests rellotges recollirà totes les hores de sol de l'any.

Segons l'orientació aquests rellotges es classifiquen en: **rellotge vertical orientat**, **rellotge vertical declinant** i **rellotge lateral**.

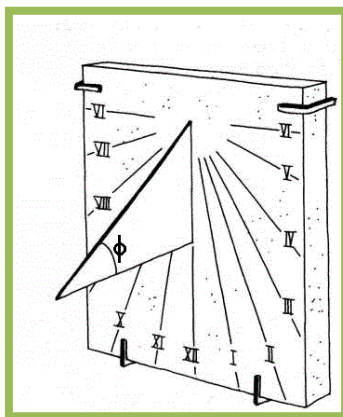
3.6.5.1. Rellotge vertical orientat

Aquest rellotge està col·locat en una paret vertical orientada al sud (Imatges 42 i 43). D'aquesta manera ens assegurem una construcció més senzilla, i la recollida del major nombre d'hores de sol.



Imatge 42. Rellotge vertical orientat. Nassauer Haus. Nuremberg, Alemanya.

El gnòmon, a l'igual que en els altres models, és paral·lel a l'eix de la Terra i parteix de la paret formant un angle amb l'horitzontal igual a la latitud del lloc (Imatge 41).



Imatge 43. Rellotge vertical orientat.

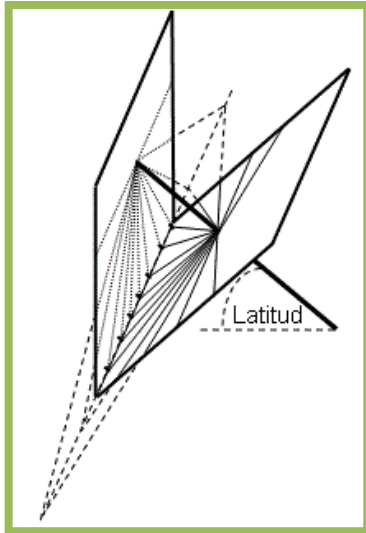
L'angle, ϕ , que forma el gnòmon amb l'horitzontal és igual a la latitud del lloc.

<https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS6-CIXsq4aEqVjg6dhJMUZfhItMiRnZvhhtGrM5V5sqDQIJRa>

Per dibuixar les línies horàries es pot fer també pels mètodes geomètric i matemàtic.

Mètode geomètric

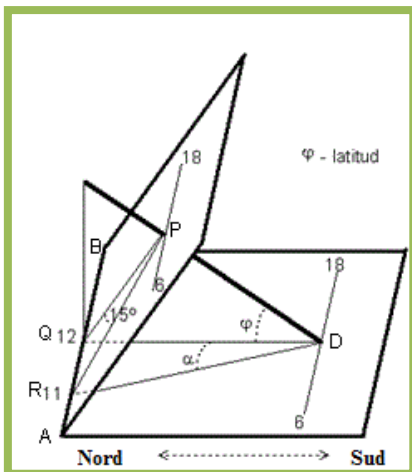
El dibuix de les línies horàries es fa, anàlogament al rellotge horitzontal, per projecció geomètrica de les línies del rellotge equatorial sobre una superfície vertical que comparteix el gnòmon (Imatges 44 i 45)



Imatge 44. Dibuix de les línies horàries a un rellotge vertical ^[11]

Mètode matemàtic

Es pot obtenir una expressió matemàtica per a dibuixar l'angle, α , de les línies horàries en funció de la latitud del lloc, ϕ , d'una manera semblant a com s'obté per al rellotge horitzontal. Es parteix d'un rellotge equatorial amb divisions horàries cada 15° .



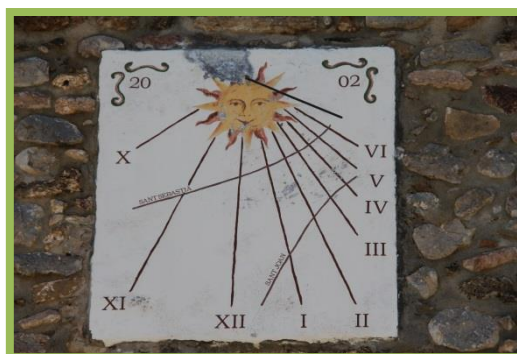
Imatge 45. Mètode trigonomètric per un rellotge vertical orientat ^[11]

$$\alpha = \text{arc tg} (\cos (\phi) \cdot \text{tg } 15^\circ)$$

Així s'obté l'angle entre la línia de 12 i de les 11. Per a les següents línies en lloc de 15° utilitzarem 30° , 45° , 60° , etc.

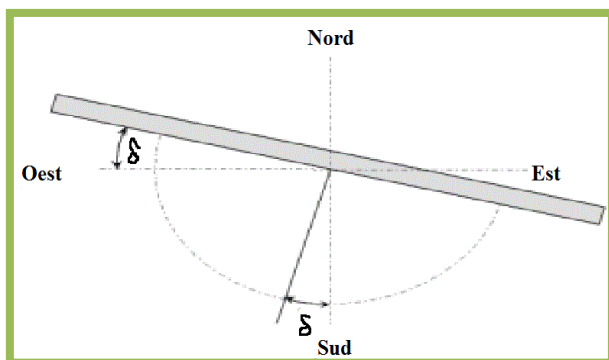
3.6.5.2. Rellotge vertical declinant

Són rellotges col·locats en una paret vertical que no està encarada exactament al sud. (Imatge 46) La majoria dels rellotges verticals són declinants.



Imatge 46. Rellotge vertical declinant cap a sud-oest. Riu de Cerdanya.
Foto: Xavier Franch

La **declinació gnomònica** d'una paret (δ) mesura l'angle entre la normal a la paret (una perpendicular) i el meridià local. Aquest angle és també el que separa el pla de la paret del pla Est-Oest. La declinació gnomònica és **positiva** si la recta imaginària perpendicular a la paret es troba a la **dreta de la meridiana**. Si es troba a l'esquerra, la declinació és **negativa** i la paret declina al sud-oest. En aquest cas es diu que la paret declina al **sud-est**. Una paret perfectament encarada al Sud té una declinació de 0° .

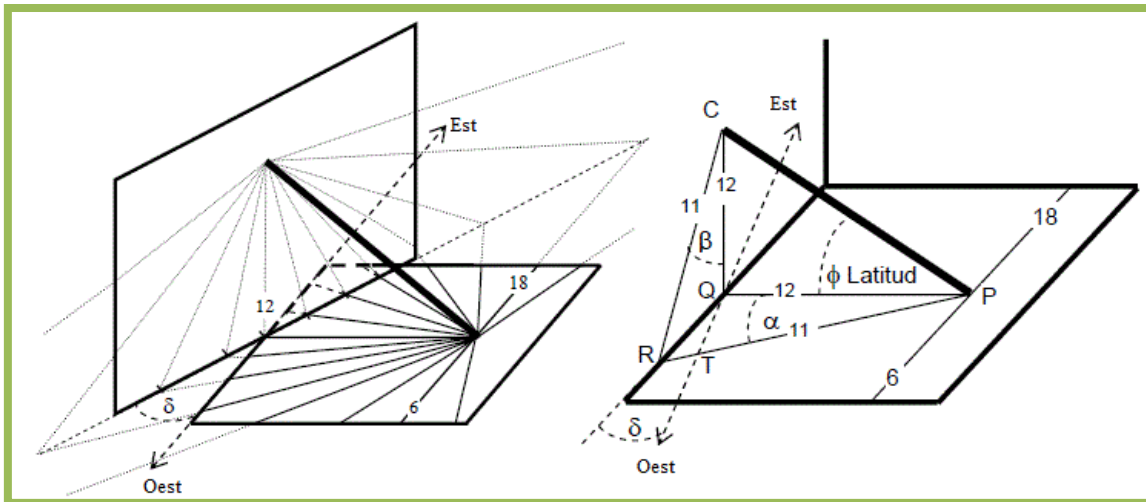


Imatge 47. Paret amb declinació negativa: declina cap al sud-oest

La manera experimental de trobar la declinació de la paret s'explica en la part pràctica del treball (veure apartat 4.3.2.1. pàgina 54).

Les línies horàries es poden dibuixar a partir d' un rellotge horitzontal que comparteix el gnòmon de manera semblant a com s' obtenen en un rellotge vertical orientat partir d' un rellotge equatorial (Imatges 48 i 49).

La línia de les 12 és **vertical** però el gnòmon no està justament damunt d'aquesta. Com es pot veure (imatge 48) està desplaçada cap a la dreta perquè ha de poder apuntar en la direcció nord-sud i la paret està inclinada. Les línies **no seran simètriques** respecte a les des migdia. Si declina cap al **sud-oest**, com el del dibuix, (suposant que està col·locat a l' hemisferi nord) apareixeran **més línies de la tarda** que del matí, i **estaran més juntes entre sí**.

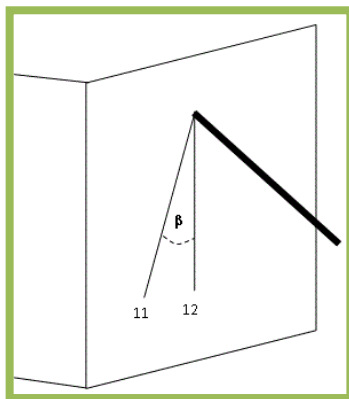


Imatge 48. La figura de l'esquerra mostra com dibuixar gràficament les línies horàries a partir d'un rellotge horitzontal amb gnòmon comú. A l'esquerra es mostra la base del mètode trigonomètric^[11].

Si s'utilitzen fórmules trigonomètriques el punt de partida és la línia del migdia que és en tots els rellotges vertical, i a partir d'aquest es dibuixen la resta calculant prèviament l'angle β segons la fórmula:

$$\beta = \text{arc tg} \frac{\sin \alpha}{\cos (\delta + \alpha) \cdot \text{tg } \varphi}$$

Essent, $\alpha = \text{arc tg} (\sin \varphi \cdot \text{tg } H)$



Imatge 49. Dibuix de les línies horàries^[11].

3.6.5.3. Rellotges laterals

Son **rellotges que estan orientats a l'est o a l'oest** (Imatges 50 i 51). En aquests casos el **gnòmon resta paral·lel a la paret**, amb una inclinació igual a latitud del lloc, i fora d'ella, per la qual cosa necessita un suport per aguantar-lo.



Imatge 50. Dos rellotges perpendiculars entre sí en un mateix edifici. El de l'esquerra està orientat al sud i el de la dreta a l'est (Rellotge lateral). Nuremberg, Alemanya

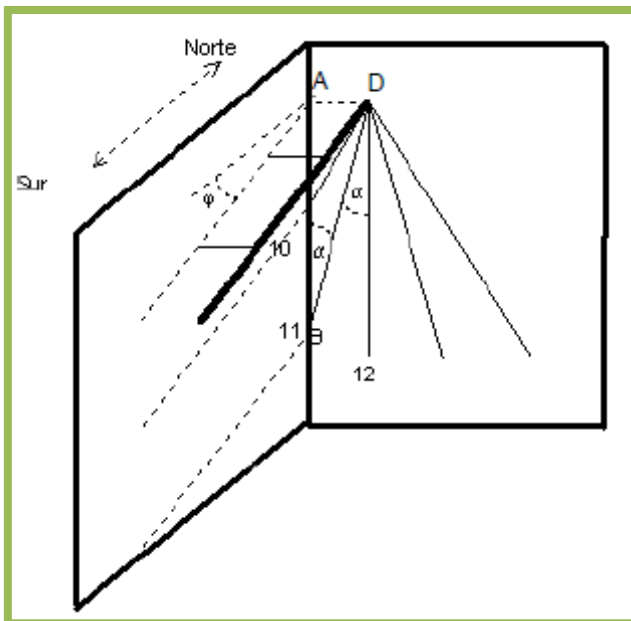


Imatge 51. Rellotge lateral orientat a l'est. Nuremberg, Alemanya.

Les línies horàries no poden partir de cap de les maneres del gnòmon, i són paral·leles a aquest. Cal, doncs, determinar la separació o distància entre la línia del gnòmon on estaria la línia de les 6 del matí (si el rellotge està orientat a l'est) o la línia de les 18 h (si el rellotge està encarat a l'oest). Una manera senzilla de dibuixar les línies horàries és partint d'un teòric rellotge vertical orientat al sud lateral al nostre rellotge, i utilitzar el mètode geomètric.

Pel mètode trigonomètric es pot calcular la distància (AB) de cadascuna de les línies horàries de les 6 o 18 h. En aquest cas:

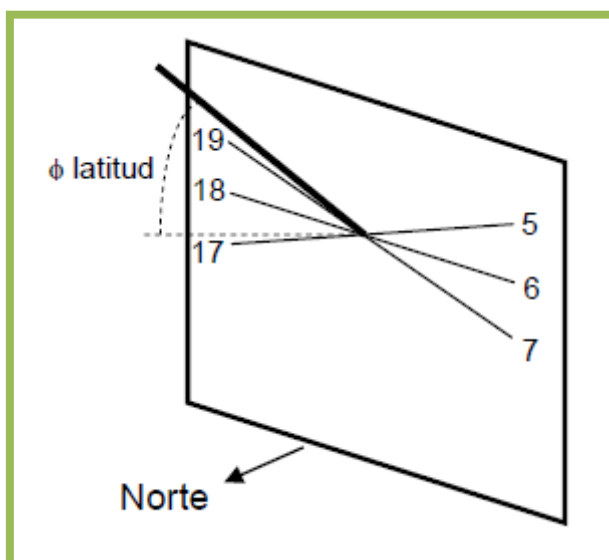
$$AD = AB/\text{tg}(\alpha)$$



Imatge 52. Rellotge lateral orientat a l'est.

3.6.5.4. Relotge orientat al nord

Es tracta d' un rellotge molt especial: només recull les primeres i darreres hores de sol a la primavera i a l'estiu. Les línies de les 6 i 18 h son horitzontals. El gnòmon està encarat cap dalt apuntant a l'estrella polar (direcció nord-sud), amb un angle igual a la latitud del lloc (Imatge 53)



Imatge 53. Relotge orientat al nord

3.6.5.5. Relotge analemàtic

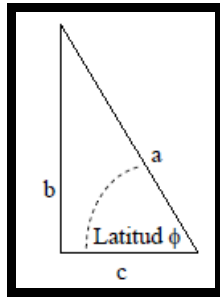
És un rellotge horitzontal construït sobre el terra i consta d' un gnòmon vertical mòbil, generalment una persona, i d' una el·lipse dibuixada sobre el terra sobre la qual hi han posats els dígets de les hores (Imatge 58). La persona que fa de gnòmon se situa sobre l'eix menor de l' el·lipsi (el qual està en direcció nord-sud) ocupant diferents posicions segons la data. (Imatge 54 i 57). L' ombra produïda per la persona indica l' hora en projectar-se sobre l'el·lipsi (Imatge 54).

L'excentricitat de l'el·lipsi està relacionada amb la latitud geogràfica (Imatges 55 i 56), i els punts on s' ha de posar la persona (gnòmon) en una data determinada s' han calculat tenint en compte la declinació del sol en aquestes dates (Imatge 57)^[11].

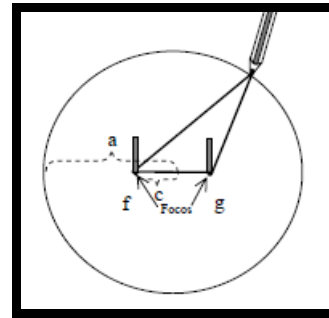


Imatge 54. Relotge analemàtic

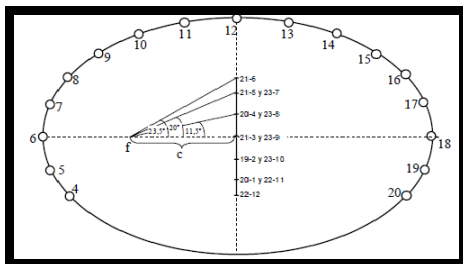
<http://1.bp.blogspot.com/-qXhQ370FFdI/TSQk2F9D9gI/AAAAAAAAA7w/C8AVYI3y8YU/s1600/13.JPG>



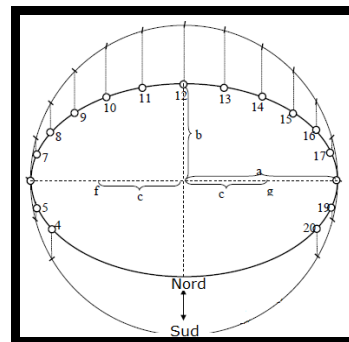
Imatge 55. Relació entre la distància focal, c , de l'el·lipse i la latitud, ϕ .



Imatge 56. Dibuix de l'el·lipse.



Imatge 57. Rellosetge analemàtic. Punts amb les dates horàries.

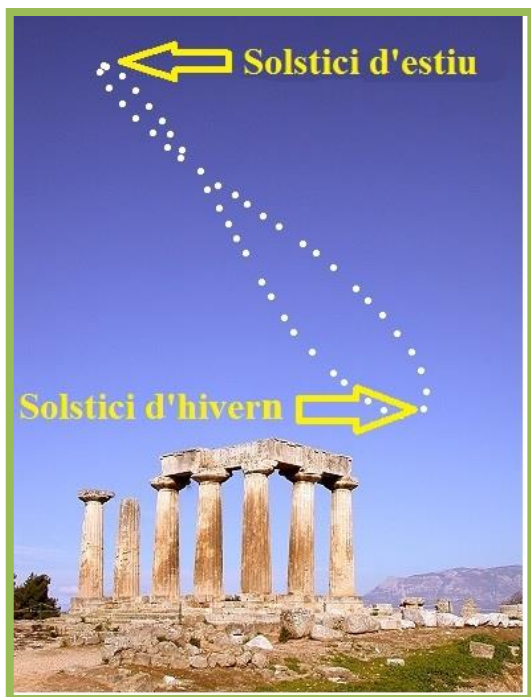


Imatge 58. Dibuix dels dígets de les hores

3.7. Hora solar i hora oficial

Durant molt de temps els rellosetges de sol van ser la manera més fiable de mesurar el temps. Amb la invenció dels rellosetges mecànics, sobre tot el rellosetge de pèndol, es va poder comprovar que no tots els dies duraven el mateix^[13]. Entenem per dia solar el temps que transcorre entre dos migdies solar consecutius. L'explicació d'aquest fet està relacionada amb la segona llei de Kepler: l'òrbita de la Terra al voltant del Sol és el·líptica, la qual cosa fa que la seva velocitat no sigui constant (va més de pressa quan està més a prop del Sol). Això fa que el moviment aparent del Sol en el cel no és uniforme. L'altra causa és que el Sol al llarg de l'any, vist des de la Terra no segueix l'equador celeste sinó la línia de l'eclíptica, i al projectar les diferents posicions la situació tampoc és uniforme.

Es pot comprovar experimentalment aquesta irregularitat de la següent manera: instal·lem una càmera fotogràfica en un lloc fix, d'on no la tocarem durant un any, i des d'aquest emplaçament prendrem fotos al Sol sobre el mateix clixé, per exemple cada 10 dies exactament a la mateixa hora. Al cap de l'any podrem veure que el Sol no es troba mai al mateix punt i el conjunt de sols ens ha dibuixat una figura en forma de 8, anomenada, **analema**^[25] (Imatge 59)



Imatge 59. Analema.

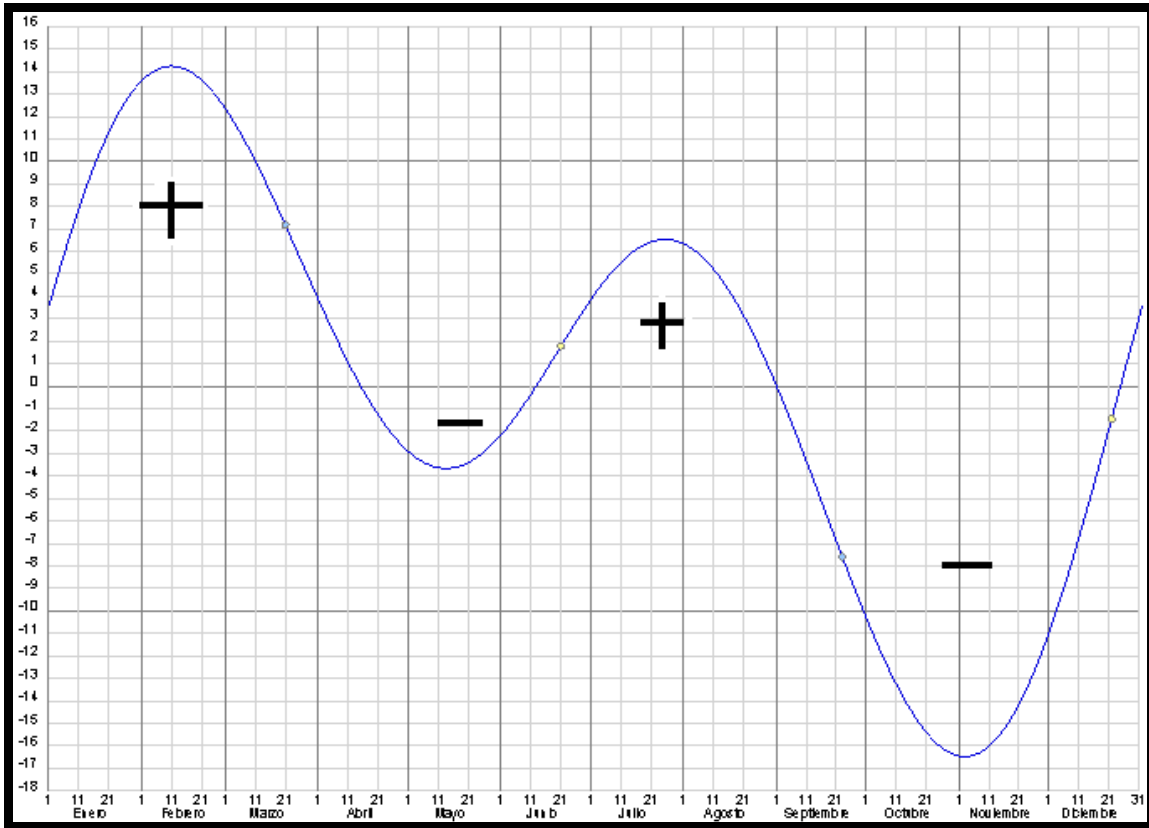
<https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSleKXJMbqNygml2iuWZqNRis4DjoBYGEJeAqWUhKts86PcjTQP>

Així el migdia solar gairebé mai coincideix amb el migdia dels nostres rellotges. Per harmonitzar aquest desajust els astrònoms es van inventar un sol fictici que anomenarem “**Sol mitjà**”. La mitjana del temps que tarda el Sol a fer quan volta a la Terra és justament el que anomenem “**dia solar mitjà**”.

El dia solar mitjà s’ha fraccionat en 24 parts iguals anomenades hores.

Al temps mesurat a partir d'aquest Sol mitjà se l'anomena **TSM** (Temps Solar Mitjà). Al temps solar mitjà a l'observatori de Greenwich se l'anomena **GMT** (Greenwich Mean Time = Temps Mitjà de Greenwich), i les sigles GMT es van servir sovint per indicar les hores oficials dels diferents països. Per exemple, a Espanya l'hora d'hivern és GMT+1 i l'hora d'estiu és GMT+2, i a la Xina és GMT+8 a tot el país i durant tot l'any.

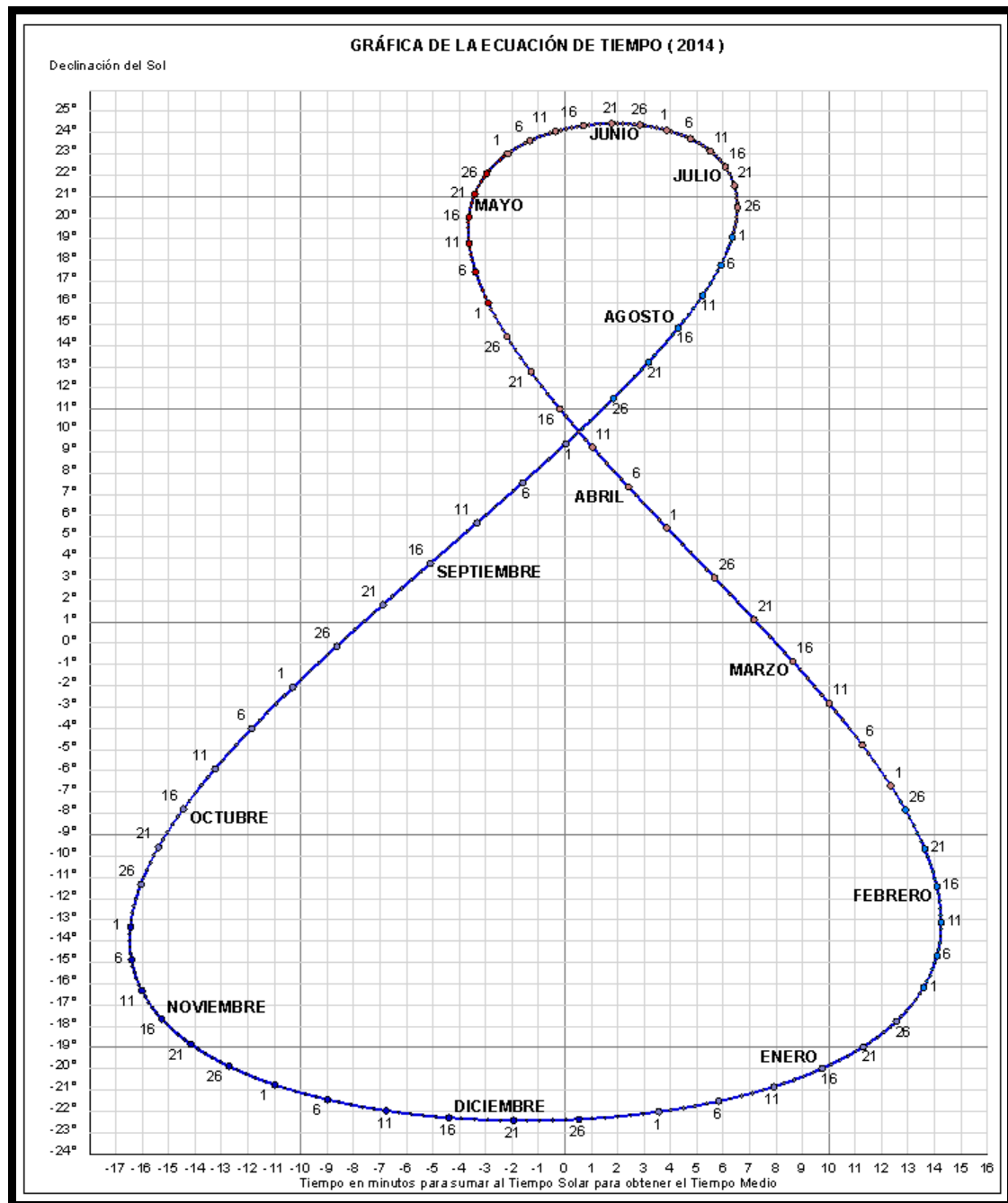
Els rellotges de sol indiquen l’hora solar local verdadera, la marcada pel Sol. Quan un rellotge de sol marca les 12, és migdia. El rellotge mecànic, en canvi, indica l’ hora regida pel Sol mitjà, fictici, uniforme. Per tot això, en comparar l’hora que marca un rellotge de sol amb la d’ un rellotge mecànic hi ha diferències de temps de fins a 15 minuts. La diferència entre l’ hora mitjana marcada pels rellotges mecànics i la verdadera dels rellotges solars és una funció periòdica que s’anomena **equació del temps** (Imatge 60). Aquesta diferència és major a principis de novembre, quan el temps solar mitjà està a més de 16 minuts per darrere del temps solar vertader, i a mitjan febrer, quan el temps solar mitjà va més de 14 minuts per davant de l'aparent. Són iguals quatre vegades a l'any, el 15 d'abril, 14 de juny, 1 de setembre i el 25 de desembre.



Imatge 60. Gràfic de l'equació del temps: temps solar mitjà (rellotge mecànic) – temps solar verdader (rellotge de Sol) per a l'any 2014 obtinguda amb el programa Shadows
A l'eix vertical es representa el temps en minuts que cal sumar (+) o restar (-) a l'hora solar per obtenir el temps solar mitjà en els diferents mesos

L'equació del temps es redueix a 0 quatre vegades l'any (15 d'abril, 15 de juny, 1 de setembre i 24 de desembre aproximadament). Cal tenir en compte que l'equació del temps té variacions anuals i es publica en els anuals astronòmics.

L'analema ^[18] es pot relacionar amb la trajectòria que dibuixa l'extrem d'un gnòmon durant tots els dies de l'any en una hora mitjana fixada.



Imatge 61. Analema de l'any 2014 obtingut amb el programa Shadows.

A l'eix vertical representa la declinació, δ , del Sol en graus. A l'eix horitzontal l'equació del temps en minuts (des de - 25 fins a + 25 minuts)

Per passar de l'hora solar a l'hora oficial (civil) s'han de fer tres correccions:

- a) Sumar-li una hora si estem a l'horari d'hivern i 2 a l'estiu
- b) Sumar-li 4 minuts per cada grau de longitud oest segons la localitat en la que ens trobem, i restar-li si estem a l'est del meridià de Greenwich. Això és degut a que una diferència de 15° de latitud hi ha una diferència horària de 60 minuts. És a dir, per cada grau, 4 minuts de diferència horària

c) Sumar-li o restar-li uns minuts segons la data en que ens trobem, degut a l'equació del temps.

Hora oficial = Hora solar verdadera + Correcció governamental (+1 h o + 2 h) + Correcció per longitud + Equació del temps

En el cas de Lleida (longitud $0^{\circ}61'$ est) caldrà restar-li aproximadament 3 minuts. ($0^{\circ}61' \times 4 \text{ minuts}/^{\circ} = 2^{\circ}44'$ minuts)

Vegem alguns exemples:

a) Quina serà l'hora oficial a Lleida l'1 de novembre quan el rellotge de Sol marqui les 3 de la tarda?

Hora oficial = $3 \text{ h} + 1 \text{ h} - 3 \text{ minuts} - 16 \text{ minuts} = 3 \text{ hores i } 41 \text{ minuts}$

b) Quina serà l'hora oficial a Lleida el 15 de juliol quan el rellotge de Sol marqui les 8 del matí?

Hora oficial = $8 \text{ h} + 2 \text{ h} - 3 \text{ minuts} + 6 \text{ minuts} = 10 \text{ hores i } 3 \text{ minuts}$

3.7.1. Fusos horaris

L'hora solar local depèn de la latitud. Així París i Barcelona tenen la mateixa hora solar perquè estan en el mateix meridià (mateixa latitud), però Lleida i Madrid la tenen diferent perquè estan en diferents meridians.

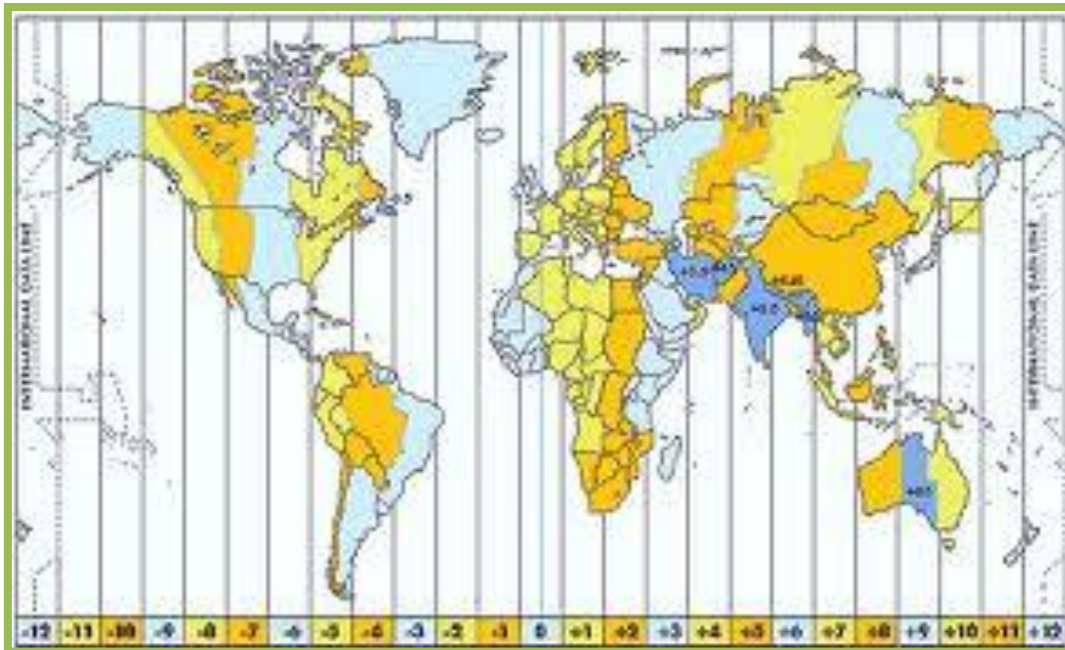
Es va veure que l'haver de canviar d'hora i d'anar d'una ciutat a una altra era un gran problema per a les relacions humanes. Es per tot això, que a partir del segle XIX alguns governs van unificar les hores de totes les ciutats de l'estat prenent per hora oficial l'hora solar de la capital o de l'observatori més important. Així, l'hora oficial de l'Estat Espanyol era la de l'observatori de San Fernando (Cadis) i al Regne Unit la de l'observatori de Greenwich.

L'any 1884 es va acordar dividir la Terra en 24 sectors iguals anomenats **fusos horaris** (imatge 60); d'aquesta manera cada fus té una hora sencera de diferència amb el fus contigu. Es prenia com a hora oficial per a tot el món l'hora solar del meridià 0° que passa per Greenwich (Londres), fent una correcció d'una hora per als fusos següents. Actualment es pren com a base **el temps coordinat universal** (T.C.U) que utilitza rellotges atòmics per obtenir una mesura més precisa del temps.

En dividir l'esfera terrestre (360°) en 24 sectors (fusos), cadascun té una amplitud de 15° . El fus horari està centrat en el meridià 0° (fus 0).

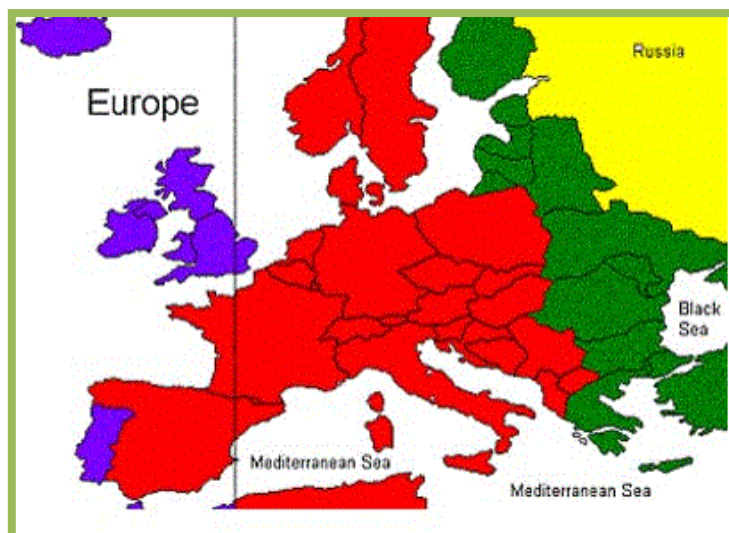
Els fusos horaris estan numerats de 0 a 12 a l'est de Greenwich i de -1 a -11 a l'oest. Les fronteres entre fusos poden no seguir una línia recta i adaptar-se a les fronteres

polítiques. Hi ha països que, per la seva extensió, estan dividits en diverses zones horàries com Canadà, Estats Units i Rússia.



Imatge 62. Fusos horaris.

Per situació geogràfica Espanya hauria de pertànyer al fus 0 (hora solar del meridià de Greenwich) però per raons polítiques^[23] pertany al fus 1 (Imatge 63)



Imatge 63. Espanya pertany al fus 1, al igual que els països de l'Europa Occidental que porten permanentment una hora avançada per gaudir d'una uniformitat horària.

<http://www.publico.es/culturas/453025/franco-desfaso-el-horario-espanol-para-sintonizar-con-los-nazis>

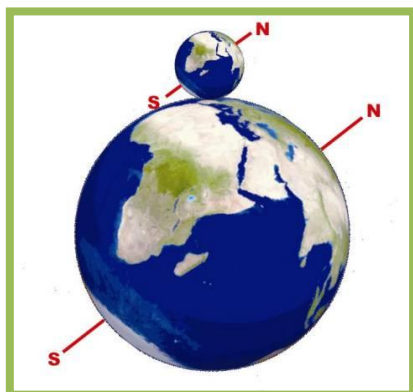
4. Part pràctica

4.1. La Terra paral·lela

La Terra paral·lela^[15 i 16] (Imatges 64-1,i 64-2) és una maqueta que serveix per observar la incidència de la llum del Sol en qualsevol lloc de la Terra.

Per poder fer les observacions correctament cal orientar l'eix del model seguint la direcció de la meridiana (N-S) amb una inclinació igual a la latitud del lloc on es fa la observació, en el nostre cas a l'institut Guindàvols de Lleida (41'5° N) hi cal situar Catalunya a la part superior de l'esfera de tal manera que quedi paral·lela a la Terra que trepitgem. Direm que el nostre model està **posat en estació**. Aleshores la maqueta es mou igual que la Terra i totes dues (Terra i maqueta) les il·luminen el Sol per igual.

Es poden fer observacions a diferents hores del dia, a diferents èpoques de l'any, fer girar el model i veure l'evolució de les ombres al llarg del dia, conèixer en quines zones del planeta és de dia i en quines de nit, en quins llocs surt el Sol i en quins llocs es pon, observar les ombres en els solsticis i equinoccis, comprovar el diferent escalfament en la maqueta de diverses zones segons la incidència dels rajos solars a diferents latituds, etc...



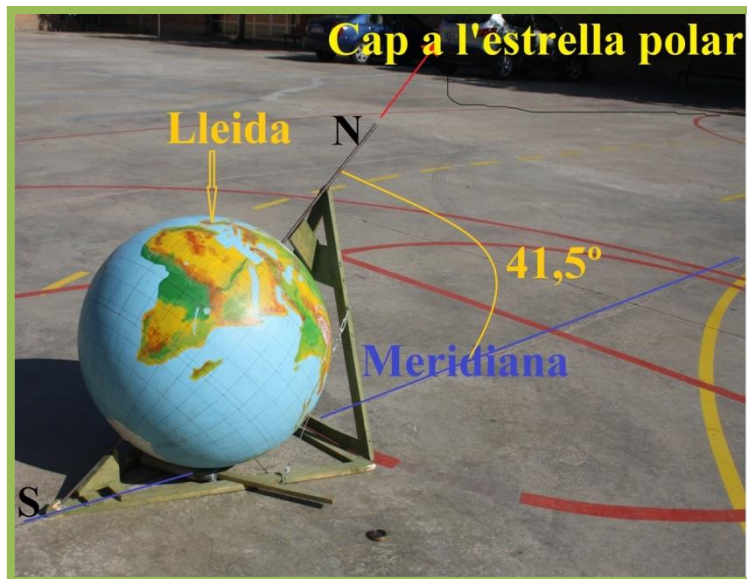
Imatge 64-1. Maqueta de la Terra paral·lela. Consisteix en una “petita Terra” unida a la Terra real, i amb la mateixa orientació a l'espai: l'eix de rotació té la direcció Nord-Sud i apunta a l'estrella Polar.

http://www.astrocantabria.org/sites/default/files/pictures/articulos_divulgacion/bola_piquio/tierra_paralela.jpg



Imatge 64-2. Maqueta de la Terra paral·lela. Els eixos de rotació de les dues terres són paral·lels. Nosaltres (Lleida) estem a la parta més alta de l'esfera.

Hem posat el nostre model de Terra paral·lela en estació (Imatge 65) i hem observat el següent:

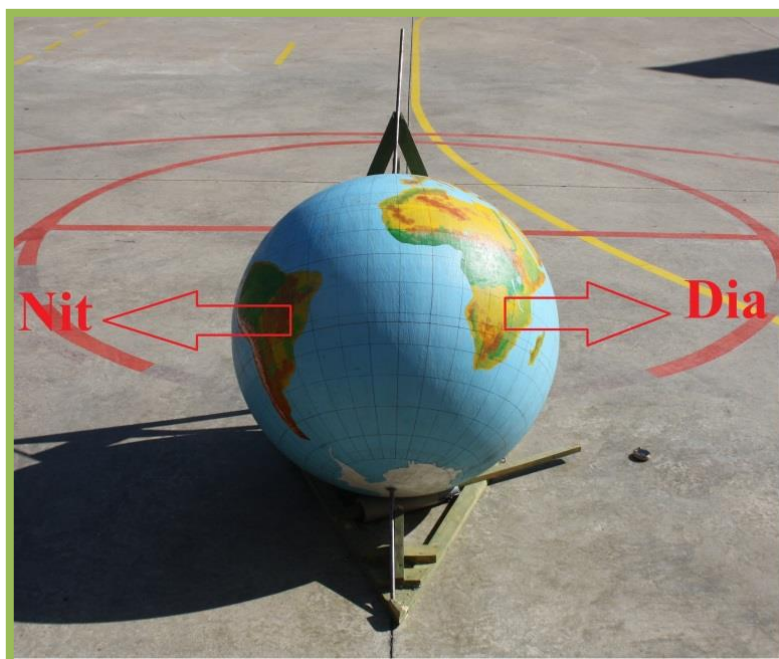


Imatge 65. Model de “Terra paral·lela” posada en estació

4.1.1. Observació 1: el dia i la nit

Observant on és de dia i de nit a la “Terra Paral·lela”, sabem on és de dia i de nit al nostre planeta en temps real. També es pot saber en quins llocs està sortint el Sol (Imatge 66-1) i en quins punts s’està fent de nit (Imatge 66-II).

Si és primavera o estiu a Lleida s’observa que el Sol arriba durant tot el dia a la regió polar àrtica (sempre és de dia), i no il·lumina gens la regió polar antàrtica (sempre és de nit).



Imatge 66-I. La línia que separa la zona il·luminada de la fosca del model ens indica els llocs del planeta on s’està fent de dia en temps real. (Institut Guindàvols, 8 de juliol de 2014)

La part il·luminada es correspon amb la zona del planeta on es de dia, i la part fosca es correspon amb la

nit. Mentre que a l'Est es fa de nit, per l'Oest es fa de dia. Si observem com evoluciona l'ombra al llarg del dia veurem que avança d'Este a Oest. Això es degut al fet que la Terra gira a l' inrevés. Cada hora la línia que separa la nit del dia recorre 15°. En un dia, 24 hores, la Terra dona una volta girant 360°.



Imatge 66-II. Es fa de nit a l'Est. (CRP del Segrià, 19 de setembre de 2014).

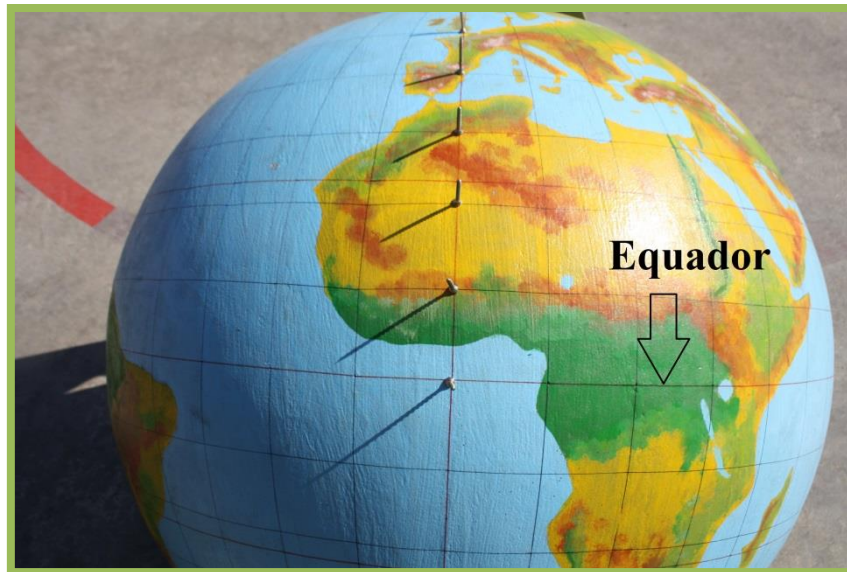
La data és molt propera al dia de l'equinocci (23/09/2014), amb la qual cosa la línia de separació entre el dia i la nit coincideix amb un **meridià**.

4.1.2. Observació 2. Evolució de l'ombra d'un gnòmon

4.1.2.1. En un meridià

Si posem els gnòmons en un mateix meridià observem:

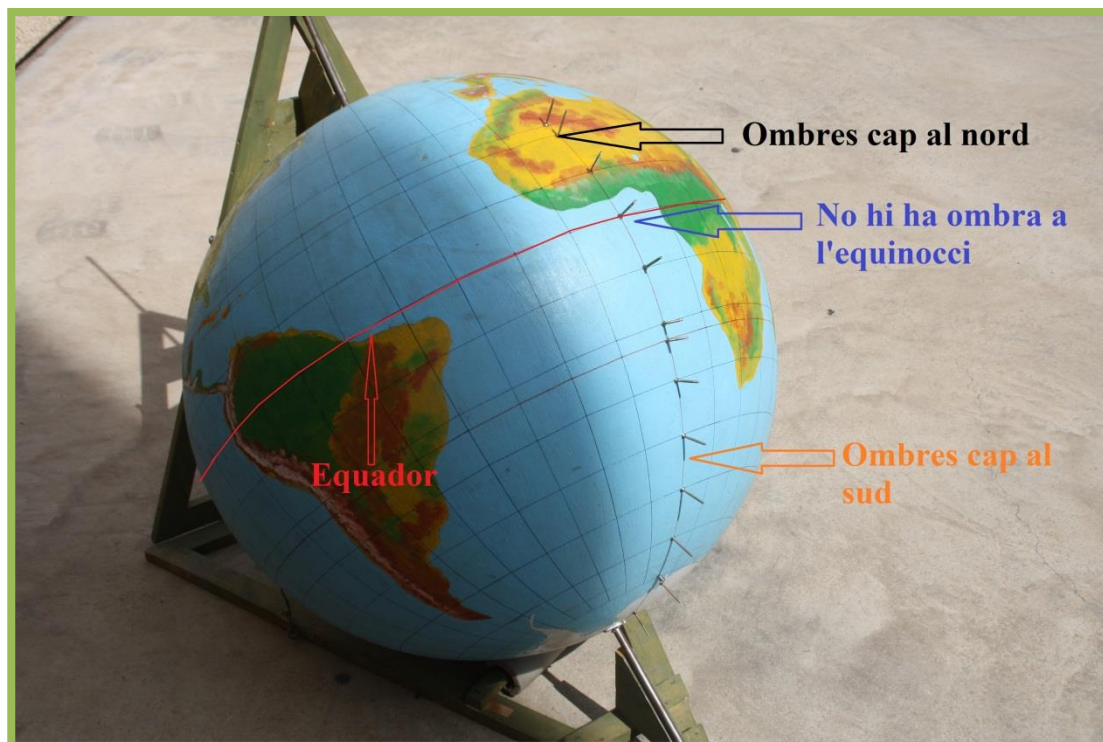
1. Que les direccions de les ombres al llarg del meridià van canviant poc a poc amb la latitud. Per aquest motiu els rellotges de sol caldrà calcular-los per a cada lloc (Imatge 67).
2. Que les ombres al matí van cap a l'Oest (Imatge 67), i a la tarda cap a l'Est. (imatge 68),
3. Que les ombres al migdia senyalen la línia del meridià: mentre a l'hemisferi nord apunten cap al Pol Nord, a l'hemisferi sud apunten cap al sud (Imatge 69).
4. Que a primera hora del matí i a última de la tarda les ombres són molt llargues, i al migdia és el moment que les ombres són més curtes.
5. A l'estiu, com més ens apropem a l'equador, més llargues són les ombres, i com més ens atansem als Pol, més curtes són les ombres (Imatge 67).
6. Els dies dels **equinoccis**, la línia que separa el dia i la nit coincideix amb un **meridià** (Imatge 69).



Imatge 67. Ombra dels gnòmons col·locats en un mateix meridià



Imatge 68. Ombra dels gnòmons col·locats en un mateix meridià després del migdia solar. (Institut Guindàvols, 8 de juliol de 2014). Les ombres van cap a l'Est.



Imatge 69. Ombres en un meridià al migdia solar en una data molt propera a l'equinocci de tardor (CRP Segrià, 19 de setembre de 2014).

Les ombres segueixen la direcció del meridià local: a l'hemisferi nord es dirigeixen cap al Nord, i a l'hemisferi sud cap al Sud.

A l'equador el gnòmon no projecta ombra perquè la llum del Sol incideix sobre la Terra amb un angle de 90° : $\text{Altura del Sol (h)} = 90^\circ - \text{Latitud } (\phi) + \text{Declinació del Sol.} \rightarrow h = 90^\circ - 0^\circ + 0^\circ = 90^\circ$

La línia que divideix el dia i la nit coincideix amb un **meridià**.

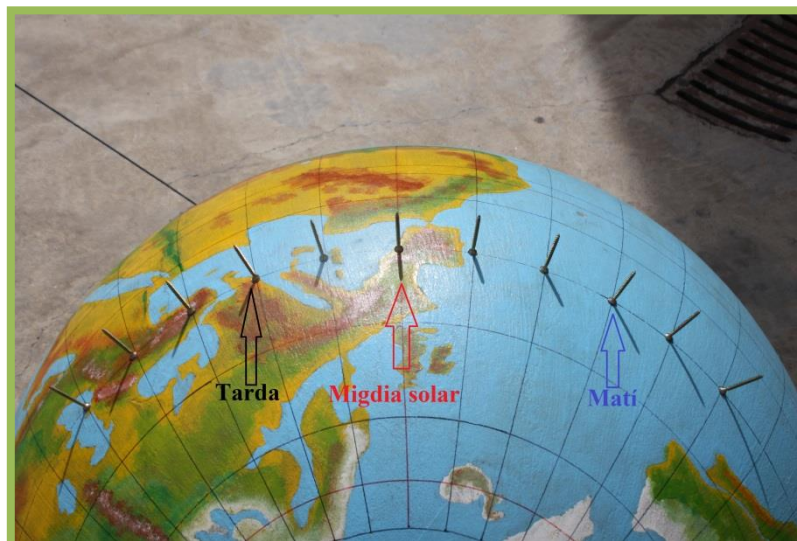
4.1.2.2. En un paral·lel

Si posem gnòmons en un mateix paral·lel (Imatge 70) observem:

1. Que les ombres, al llarg del dia van d'Oest a Est passant pel Nord (Imatge 71).
2. Veient cap on va l'ombra del gnòmon podem saber més o menys l'hora solar del lloc. Com més curta sigui, més a prop estem del migdia solar. En aquest moment el Sol està travessant el meridià local i la seva ombra es projectarà seguint el meridià del model.



Imatge 70. Ombra dels gnòmons situats en un mateix paral·lel



Imatge 71. Direcció de l'ombra dels gnòmons en diferents moments del dia. Al matí l'ombra apunta a l'Oest, al migdia al Nord, i a la tarda a l'Est.

4.1.3. Relloctes de sol equatorials.

Per entendre el funcionament d'un rellotge solar equatorial és interessant col·locar-ne uns quants en distints llocs del nostre model, i observar quina és l'hora solar real en cada lloc, tenint en compte que l'hora solar mai coincideix amb l'hora oficial.^[19]

4.1.3.1. Relloctge de sol equatorial en un meridià

Els rellotges s'han de col·locar de manera que l'estil sigui paral·lel a l'eix del món (eix de rotació de la Terra) (Imatges 72, 73 i 74). D'aquesta manera s'aconsegueix que el pla del rellotge sigui paral·lel al pla de l'equador.



Imatge 72. Relloges de sol equatorials situats en diferents punts del mateix meridià. S'observa que els plans dels rellotges situats a diferents latituds són paral·lels entre sí, i paral·lels a l'equador.



Imatge 73. Relloges equatorials situats en el mateix meridià

Si ens fixem en les ombres ens adonem que tots els rellotges marquen la mateixa hora: les 9 h (Imatge 74).

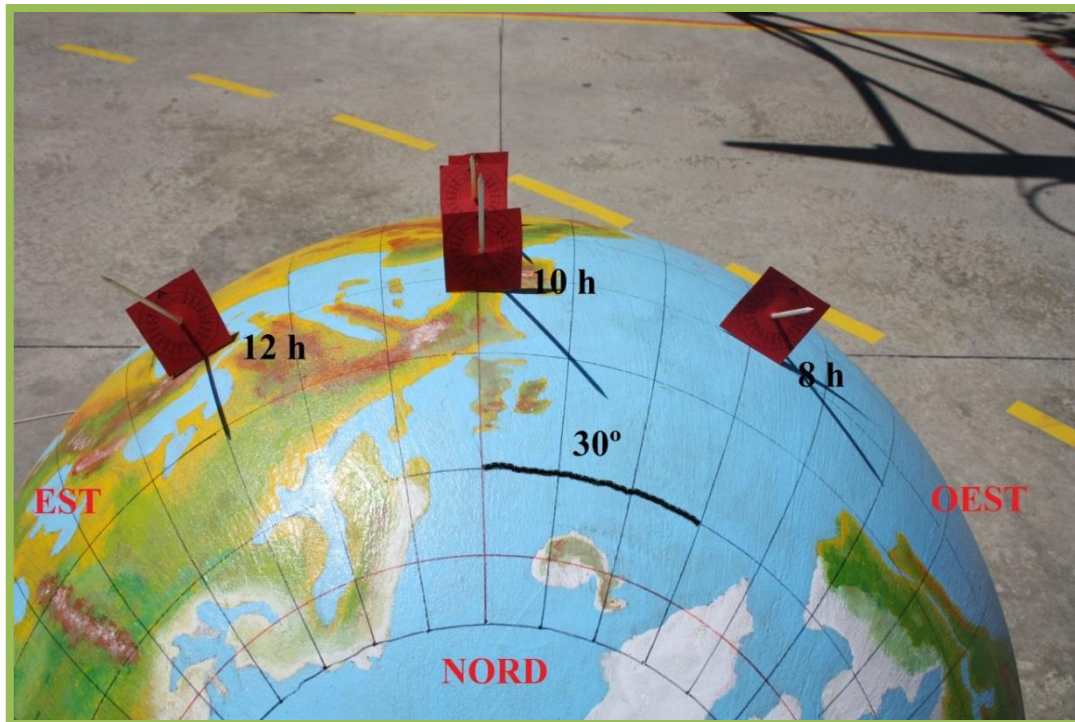


Imatge 74. Tots els rellotges indiquen la mateixa hora solar (les 9 h). L' hora solar en els diferents llocs d' un meridià és la mateixa

4.1.3.2. Rellotges de sol equatorials en un paral·lel

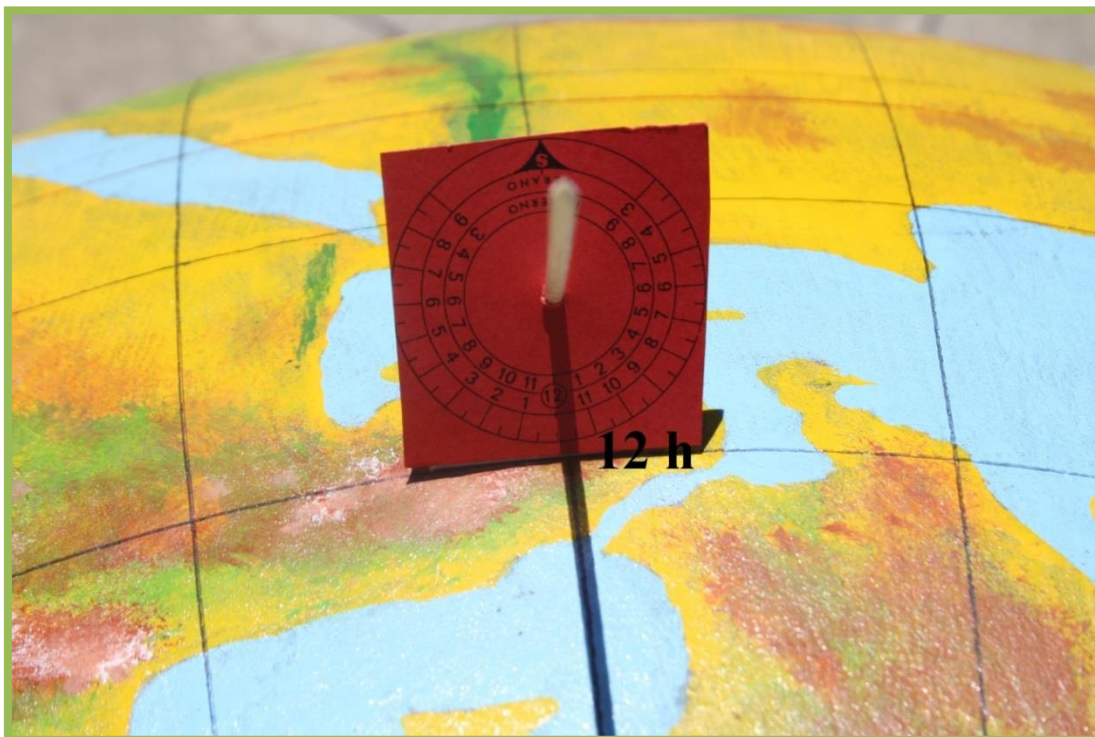
El model de la “Terra paral·lela” s’ha confegit de tal manera que s’han dibuixat 36 meridians separats entre ells 10° . Hem col·locat 3 rellotges equatorials en diferents llocs d’un mateix paral·lel i separats 30° entre el primer i el segon, i també 30° entre el segon i el tercer. Si observem les ombres dels rellotges veiem que assenyalen les 8, les 10 i les 12 hores respectivament. Arribem a la conclusió que la diferència horària entre dos llocs d’un mateix paral·lel és de dues hores per cada 15° de separació i això és equivalent a una hora per cada 15° (Imatge 75)

L’hora solar en un paral·lel augmenta d’oest a est. El migdia solar és més aviat a l’est que a l’oest.

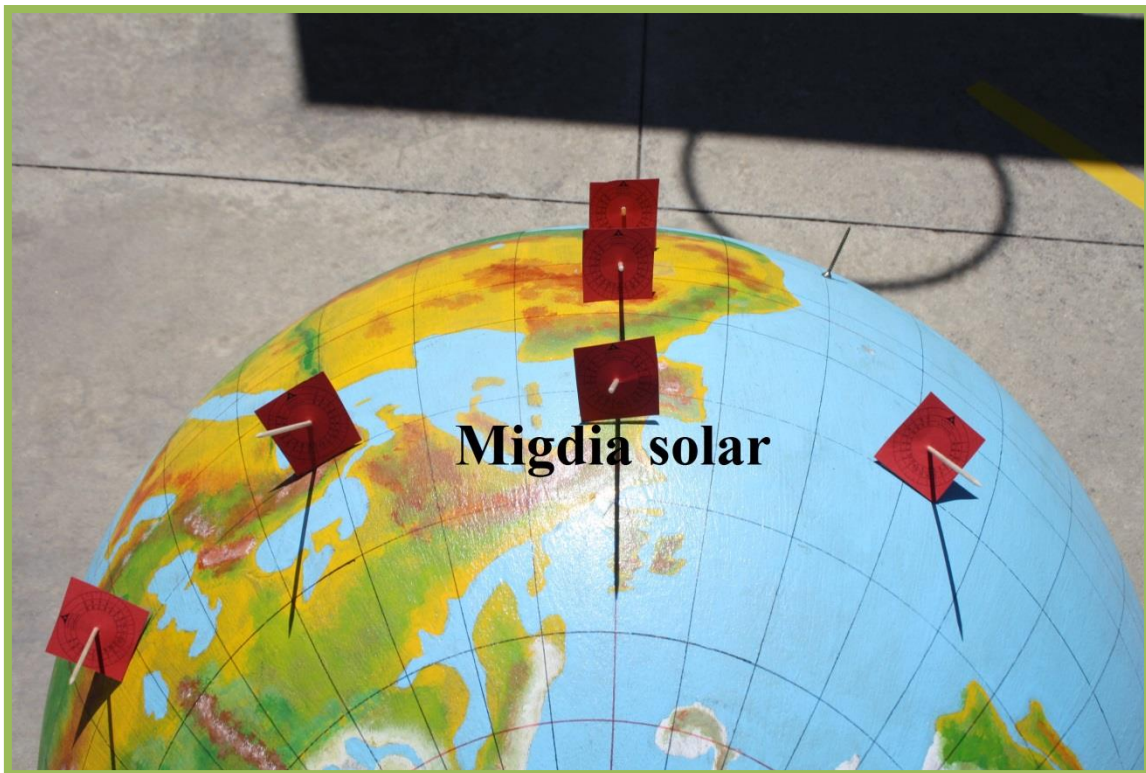


Imatge 75. L'hora solar és diferent al llarg d'un paral·lel, augmenta d'oest a est. La diferència horària entre llocs separats 15° és de 1 hora

Quan l'ombra de l'estil té la direcció del meridià és el migdia solar (Imatges 76 i 77). En la imatge anterior es pot observar que en el lloc on està situat el rellotge de l'esquerra és el migdia.



Imatge 76. Migdia solar. L'ombra de l'estil coincideix amb la direcció del meridià local.



Imatge 77. En tots els llocs del meridià del centre de la imatge és migdia.

4.2. Determinació experimental del migdia solar i la direcció de la meridiana.

4.2.1. Utilitzant un gnòmon

La longitud de la llargada de l'ombra d'un pal vertical (gnòmon) depèn de la posició del Sol. El **migdia verdader** és quan l'ombra és més curta i assenyalava la direcció de la **meridiana (Nord - Sud)**. S'anomena així, perquè segueix la direcció del meridià local.

Hem fet l'estudi de la variació de la llargària de l'ombra del gnòmon el 20 de setembre de 2013, equinocci de tardor, (Imatge 78), i el 20 de juny de 2014, solstici d'estiu, (Imatge 79)

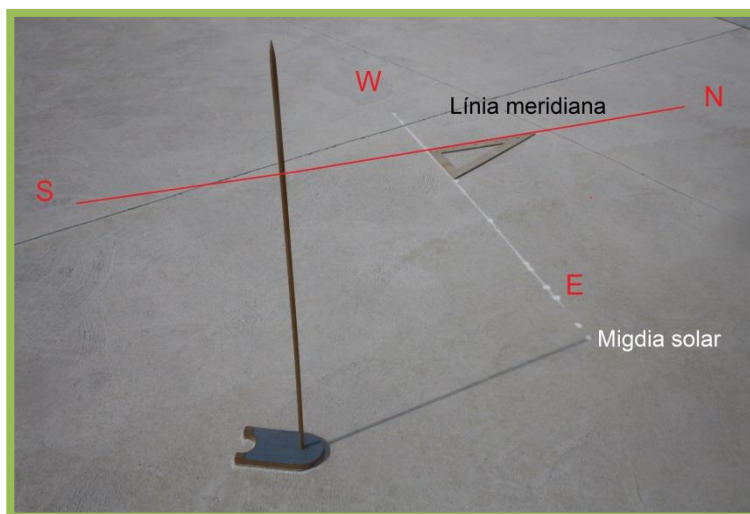


Imatge 78. Evolució de l'ombra del gnòmon a l'equinocci de tardor. En aquest dia s'observa que la línia que uneix els punts de l'ombra que correspon al cap del gnòmon en el decurs del dia és una **línia recta**; això és com a conseqüència de situar-se en el Sol, en aquest dia, a l'equador celeste.



Imatge 79. Evolució de l'ombra durant el solstici d'estiu. Unint els punts s'obté una **corba convexa**. Al solstici d'hivern la corba és còncava. La declinació del Sol és de $23'5^{\circ}$ al solstici d'estiu i de $-23'5^{\circ}$ al solstici d'hivern.

La línia **meridiana** és fàcil de dibuixar traçant una línia perpendicular, amb l'ajut d'un escaire, a la línia recta que marca la direcció Nord-Sud el dia de l'equinocci. També es pot conèixer a partir de la direcció de l'ombra del gnòmon al migdia solar (Imatge 80).

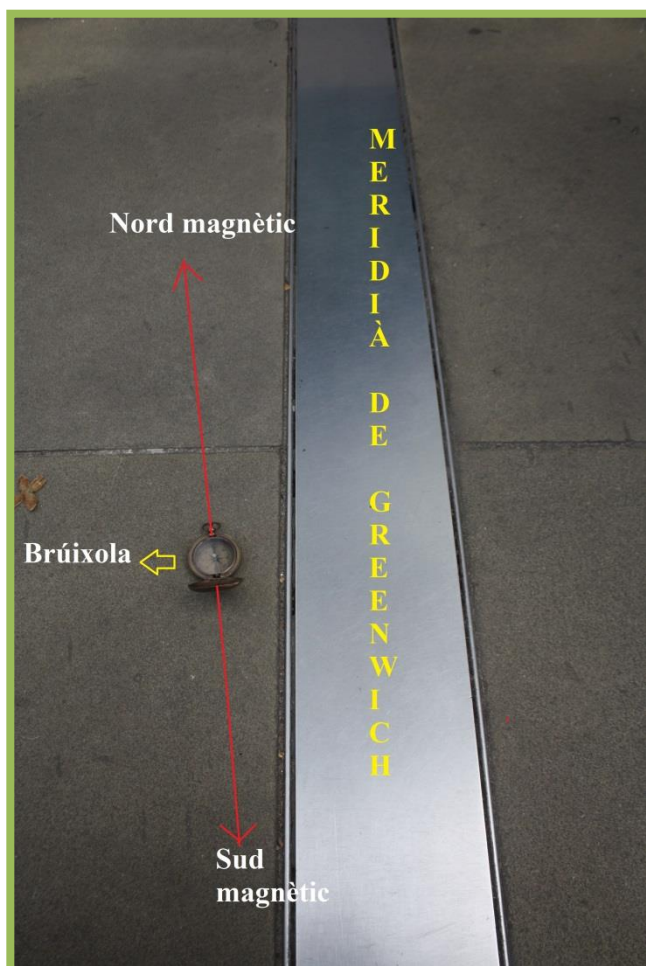


Imatge 80. Dibuix de la línia meridiana. La línia blanca ens indica la direcció Est-Oest. La línia vermella indica la direcció Nord-Sud (meridiana). L'instant en que l'ombra del gnòmon és més curta ens indica el migdia solar. La direcció de l'ombra en aquest moment també ens dóna la direcció de la meridiana.

Per determinar la direcció de la línia meridiana no cal que esperem els dies de l'equinocci. Ho podem fer qualsevol dia, fent un seguiment de l'ombra del gnòmon.

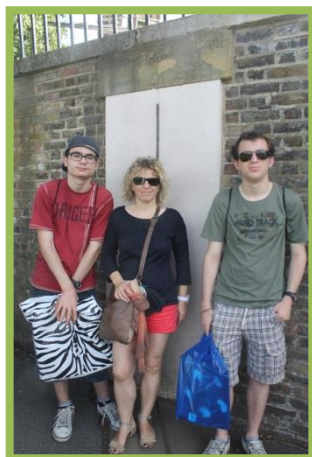
La direcció de l'ombra al moment en que aquesta és més curta determina la **meridiana** i el **migdia solar**.

La línia meridiana que té un interès especial és la que passa per la ciutat anglesa de Greenwich perquè es pren com a **meridià de referència** (meridià 0) (Imatges 81 i 82). El 3 d'agost de 2013 vaig visitar l'observatori de Greenwich i vaig poder comprovar, amb l'ajuda d'una brúixola que el nord magnètic no coincideix exactament amb el nord geogràfic.



Imatge 81. Meridià de Greenwich. Observatori de Greenwich (Anglaterra)

El meridià de Greenwich marca la direcció de la línia meridiana que passa per la ciutat anglesa de Greenwich i que s'agafa com a origen dels meridians (meridià 0). Tal com es veu a la foto, el nord magnètic no coincideix del tot amb el nord geogràfic determinat per la direcció del meridià



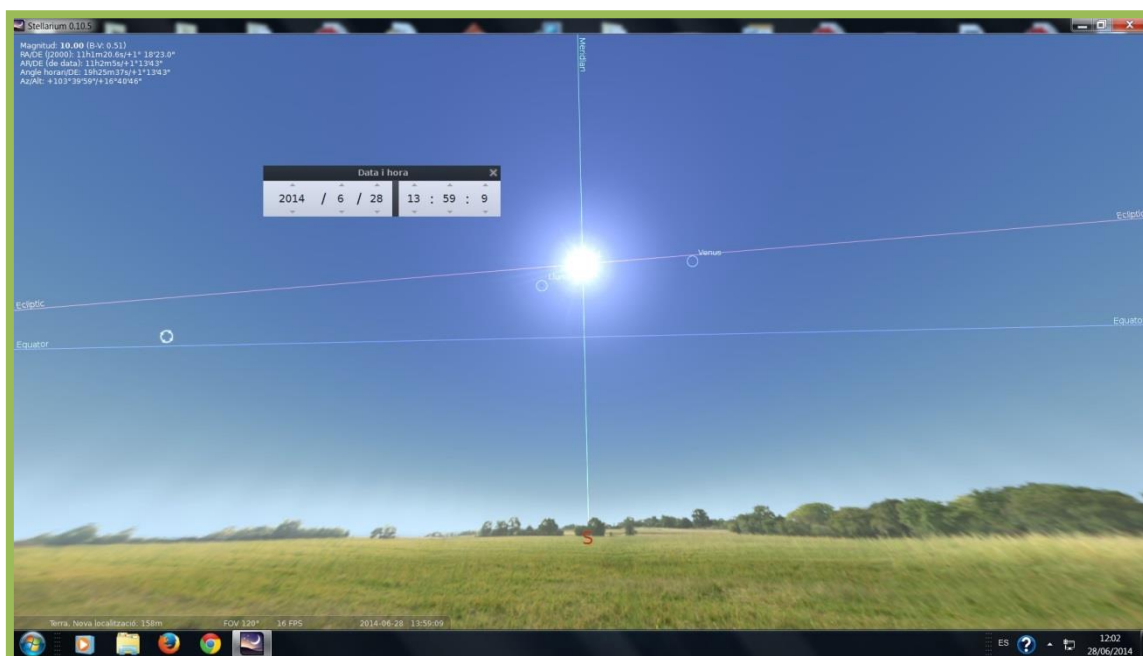
Imatge 82. Observatori de Greenwich. Meridià de Greenwich (Anglaterra)

4.2.2. A partir del programari Stellarium

Stellarium^[16] és un programa gratuït que opera simulant en la pantalla la vista esfèrica del cel, en la qual és possible observar la posició de diversos cossos celestes com la Lluna, el Sol i diverses constel·lacions. El programa té l'opció de prendre la **latitud i longitud** de qualsevol ubicació geogràfica, amb el que és possible observar el cel en diferents parts del món. La visualització es duu en **temps real**, o en un temps de velocitat ajustable cap endavant i cap enrere en el temps, amb el que és possible "observar" el cel en qualsevol moment i lloc en la Terra.

La latitud de Lleida és de **N 41° 37' 12.00"** i la seva longitud de **E 0° 37' 48.00"**

El programa permet dibuixar el **meridià local i l'eclíptica**. Per trobar el migdia solar de qualsevol dia de l'any només cal observar el moment en que el Sol travessa el meridià local. Per exemple, el migdia solar del dia 28 de juny de 2014 fou a les **13:59 h.** (Imatge 83)



Imatge 83. El Sol travessa el meridià local a les 13:59 h.

4.2.3. A partir de les hores de sortida i posta del sol

També es pot determinar el migdia solar consultant, prèviament en el calendari solar^[21], **les hores de sortida de les postes del sol** i n'haurem tret la mitjana (Imatge 83).

28 de juny de 2014: el Sol va sortir a les 6:25 i es va pondre a les 21:36. Entre posta i l'alba van transcorre 15 h i 11 min. Si dividim aquesta quantitat per 2 sabrem, doncs, que 7 hores i 36 minuts després d'haver sortit, el Sol aquest dia va passar exactament pel meridià. Per tant el migdia solar va ser a les **14:01 hores**.

El migdia solar determinat amb el programa Stellarium gairebé coincideix el valor obtingut a partir de la diferència de temps entre l'alba i la posta de sol.

4.3. Determinació de la paret del pati de l'institut on s'ha de col·locar el rellotge

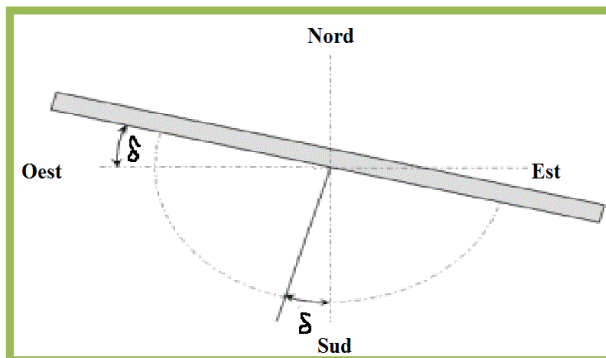
4.3.1. Disseny d'un rellotge solar de paret vertical declinant

A l'hora de col·locar un rellotge solar de paret, aquesta gairebé mai està encarada al sud, donant lloc a un rellotge anomenat **vertical declinat**.

La primera cosa que cal fer és calcular l'orientació exacta de la paret. Això es pot fer amb una brúixola, GPS i programaris informàtics ^[2].

4.3.2. Càlcul de la declinació de la paret amb un transportador d'angles

La **declinació gnomònica** d'una paret (δ) mesura l'angle entre la normal a la paret (una perpendicular) i el meridià local. Aquest angle és també el que separa el pla de la paret del pla Est-Oest. La declinació gnomònica és **positiva** si la recta imaginària perpendicular a la paret es troba a la **dreta de la meridiana**. Si es troba a l'esquerra, la declinació és **negativa** i la paret declina al sud-oest (Imatge 84). En aquest cas es diu que la paret declina al **sud-est**. Una paret perfectament encarada al Sud té una declinació de 0°



Imatge 84. Paret amb declinació negativa: declina cap al sud-oest

El nostre rellotge el col·locarem al pati de l' Institut Guindàvols. La paret escollida és la que està més orientada cap al sud, la qual cosa ens permetrà recollir més hores d'ombres.

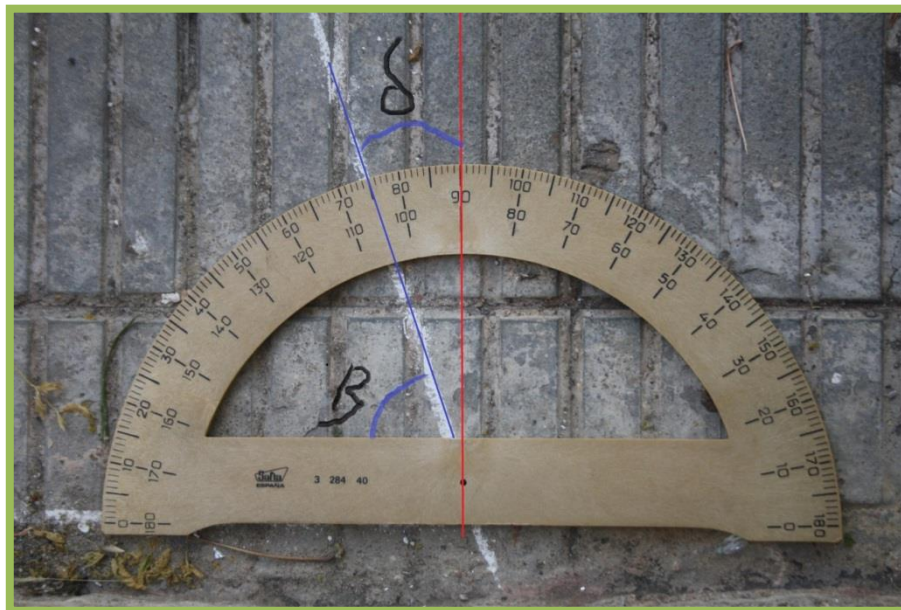
4.3.2.1. Mètode geomètric

Primerament determinarem la declinació de la paret. Per fer-ho dibuixarem la **línia meridiana** a partir de la direcció de l'ombra d'un gnòmon vertical al migdia solar. A continuació col·loquem el transportador d'angles paral·lel a la paret de manera que el centre del transportador coincideixi amb la meridiana (Imatge 85) .



Imatge 85. Traçat de la línia meridiana

A continuació es traça una línia perpendicular a la paret i es mesura l'angle δ . En el nostre cas $\delta = -15^\circ$ (Imatge 86).



Imatge 86. Mesura de la declinació de la paret

4.3.2.2. Utilitzant una aplicació d' internet

És pot determinar d'una manera molt ràpida i precisa la declinació de la paret utilitzant l'aplicació “Crea el teu propi rellotge de sol vertical” [20]

El primer que cal fer és localitzar a Google Maps l' institut Guindàvols (Imatge 87).



Imatge 87. Vista aèria de l'Institut Guindàvols.

Després, es marca la direcció de la paret on es col·locarà el rellotge, i l'aplicació informàtica en dóna la declinació de la paret. Mitjançant aquest mètode obtenim un valor de **-16°** (Imatge 88).



Imatge 88 . Mesura de la declinació de la paret

Considerarem que la declinació gnomònica de la paret és el valor mitjà de les dues declinacions: $\delta = (-15^\circ + (-16^\circ))/2 = -15,5^\circ$

4.4. Disseny del quadrant solar

4.4.1. Càlcul de l'angle β de les línies horàries.

Si tenim en compte que la declinació gnomònica de la paret és de $15,5^\circ$, i que la latitud de l'institut Guindàvols és de $41'6''$ podem calcular els angles (β) de les línies horàries amb les fórmules següents:

$$\beta = \arcsin \frac{\sin \alpha}{\cos (\delta + \alpha) \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad \text{Essent, } \alpha = \arcsin (\sin \varphi \cdot \operatorname{tg} H)$$

Cal substituir H per $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, \dots -15^\circ, -30^\circ, -45^\circ, -60^\circ \dots$, i es trobarà l'angle β entre la línia de les 11 i les 12, les 10 i les 12, les 9 i les 12,.....les 12 i les 13, les 12 i les 14,...

Els valors obtinguts estan reflectits a la següent taula:

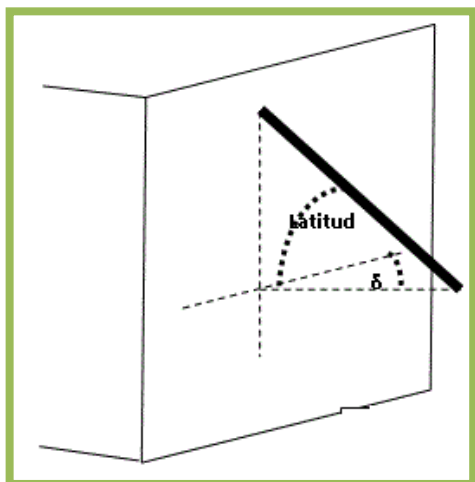
Línies horàries	angle β
11 – 12	12'4°
10 – 12	27'6°
9 – 12	43'7°
8 – 12	63'1°
7 – 12	83'8°
6 - 12	90°
12-13	-11,2°
12-14	-22,06°
12-15	-33,3°
12-16	-45,7°
12-17	-60'1°
12-18	-77'1°

4.4.2. Col·locació del gnòmon.

El gnòmon ha de quedar paral·lel amb l'eix de la Terra (Imatge 89 i 90). Per aconseguir això utilitzarem dos angles: la **latitud del lloc**, φ , que es pot obtenir amb un GPS o a internet o mirant a un mapa, i el angle de declinació, δ , de la paret que hem calculat.

Per a col·locar el gnòmon de manera exacta es pot utilitzar un suport triangular de fusta o cartró amb l'angle de la latitud. El suport es col·loca recolzat a la paret, i a una fusta horitzontal (amb ajuda d'un nivell) en la que s'ha marcat l'angle. A la línia que

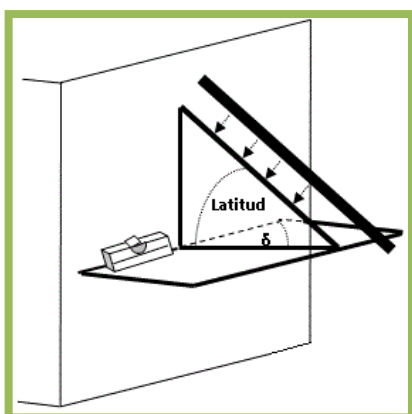
delimita aquest angle es recolza el suport triangular. El gnòmon es col·locarà seguint l'aresta del triangle (Imatge 3).



Imatge 89. Rellotge vertical declinant.

La col·locació del gnòmon s'ha de fer tenint en compte la latitud del lloc, φ , i la declinació, δ , de la façana.

En el nostre cas cal recordar que la latitud, φ , de l'institut Guindàvols és de **41'6° N**, i que la declinació gnomònica de la paret, δ , és de **-15'5°**



Imatge 90. Col·locació del gnòmon amb l'ajut d'un triangle de cartró, una fusta horitzontal i un nivell.

El triangle ha d'estar orientat un angle δ (declinació de la façana). El gnòmon cal que tingui la mateixa orientació que la hipotenusa del triangle.

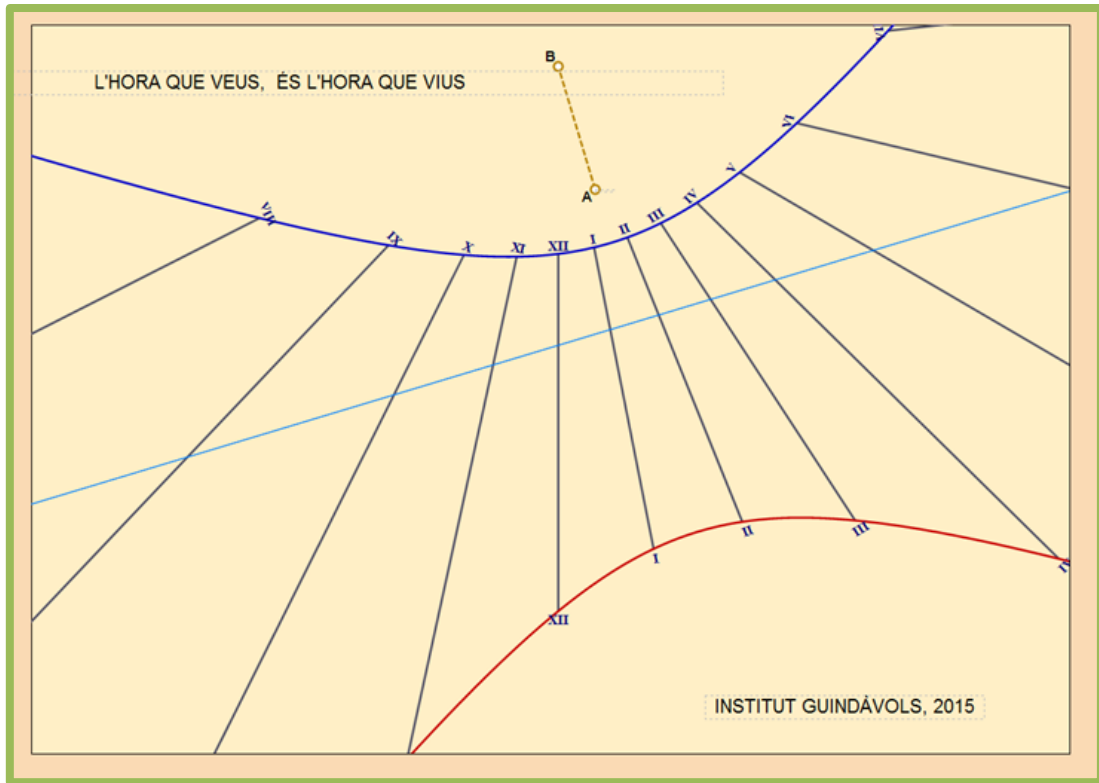
4.4.3. Dibuix de les línies horàries

4.4.3.1. Disseny del quadrant utilitzant el programa Shadows

La manera més senzilla i ràpida de dissenyar el nostre quadrant solar (Imatge 91) és fer-ho utilitzant el programa Shadows^[18]. (Annexe III).

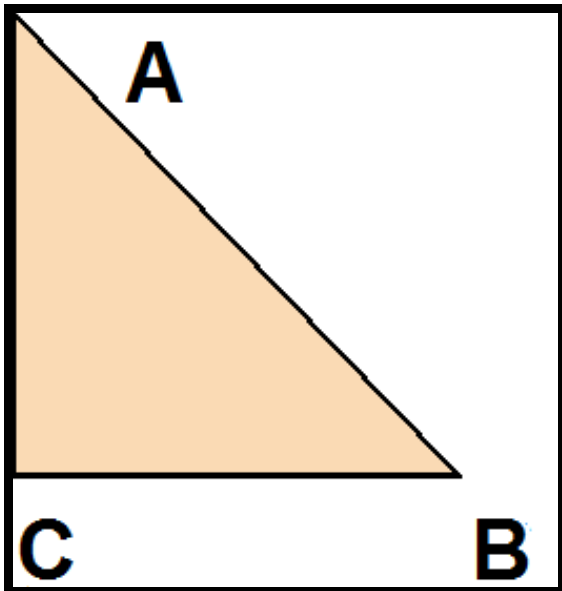
Primer de tot cal introduir la latitud del lloc on volem posar el rellotge. (latitud 41'6° N). A continuació hem d'elegir entre les diferents opcions de quadrants solars: horitzontals, verticals declinants, equatorials, etc.. Nosaltres hem elegit l'opció "**quadrant declinant**". Després cal indicar la declinació gnomònica de la paret (15° i 30' Oest) i l'angle que forma el rellotge amb l'horitzontal (90°). Procedint d'aquesta manera apareix dibuixat el quadrant. Només resta elegir la forma (rectangular, ovalat, poligonal etc..), el tipus de numeració de les hores (nombres romans, decimals). També permet introduir un text (lema, posició geogràfica, etc...) i les línies zodiacals.

El nostre lema és : "L' hora que veus, és l' hora que vius"

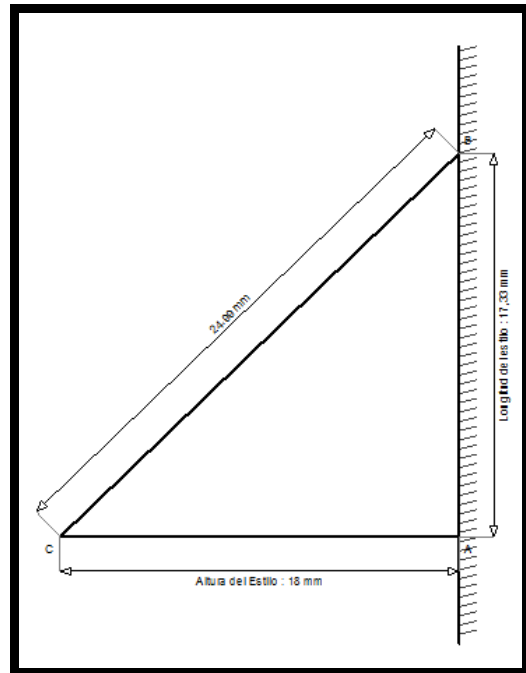


Imatge 91. Quadrant solar pel pati de l' Institut Guindàvols

El programa, a més, dibuixa l'estil (gnòmon), en forma de triangle, amb les dimensions i angles adients (Imatges 92 i 93)



Imatge 92. Estil del quadrant



Imatge 93. Dimensions de l'estil

4.4.5. Construcció del rellotge

El rellotge s'ha construït al taller de mecanització de l' institut. (Imatges 94 i 95)



Imatge 94. Les línies horàries es marquen sobre una planxa de ferro

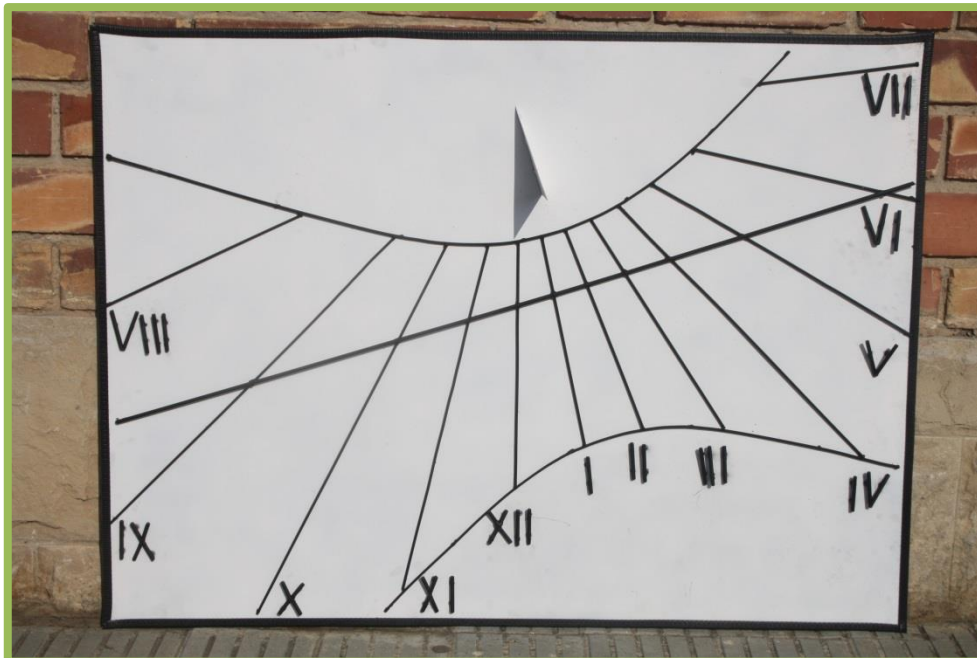


Image 95. Rellotge solar declinant

5. Conclusions

1. L'estudi de l'evolució de la longitud i de la direcció de l'ombra d'un gnòmon va permetre a les distintes civilitzacions situar-se en el temps: tot confeint calendaris, i rellotges de sol cada cop més precisos.
2. Malgrat que la Terra gira a l'entorn del Sol, si observem el moviment del Sol des de la Terra (moviment aparent) ens adonem que:
 - a) El Sol surt el primer dia de primavera i de tardor per l'Est i es pon per l'Oest desplaçant-se per l'equador celeste.
 - b) El primer dia d'estiu (solstici d'estiu) es quan el Sol surt més cap al nord i assoleix la màxima altura sobre l'equador celeste ($23,5^\circ$) recorrent un paral·lel. També és quan es pon més cap al nord.
 - c) El primer dia d'hivern (solstici d'hivern) és quan el Sol surt i és pon més cap al Sud seguint el paral·lel que està a $-23,5^\circ$
3. Un rellotge de sol és un instrument de mesura del temps basat en el fet que el Sol es desplaça pels paral·lels celestes d'una manera bastant regular, avançant 15° cada hora, amb la qual cosa l'ombra d'un gnòmon paral·lel a l'eix de rotació de la Terra, també es desplaça a la mateixa velocitat angular sobre una superfície perpendicular al gnòmon. De tota manera, com que la regularitat del moviment del Sol no és total, cal fer tres correccions per tal que passar de l'hora solar a l'hora oficial.

Els rellotges de sol es classifiquen en: horitzontals, equatorials, verticals orientats, verticals declinants i analemàtics.

Els avantatges i inconvenients de cadascun són:

	Equatorial	Horitzontal	Vertical orientat	Vertical declinant	Analemàtic
Avantatges	Línies horàries cada 15°	Les hores es recullen sobre una superfície plana. Funcionen des de la sortida fins a la posta del Sol	Construcció senzilla. Recull moltes hores de Sol. Línies horàries simètriques respecte la línia de les 12	Es pot col·locar en qualsevol paret	Gnòmon vertical. La mateixa persona fa de gnòmon
Inconvenients	Els dies dels equinoccis no funcionen	Les línies horàries no són equidistants	Només serveix per parets orientades al sud	Si la declinació de la paret és gran, recull poques hores de Sol	Segons la data el gnòmon s'ha de col·locar en posicions diferents

4. Amb el model de la “Terra paral·lela” hem comprovat que tots els llocs d’un mateix meridià (meridià local) tenen la mateixa hora solar. L’hora solar en un mateix paral·lel augmenta d’oest a est (1 hora cada 15’).
5. Resseguint la punta de l’ombra d’un gnòmon durant els dos dies d’equinoccis s’obté una línia recta que indica la direcció Est-Oest.
6. La línia perpendicular a la recta obtinguda anteriorment ens assenyala la direcció Nord-Sud (línia meridiana).
7. La direcció de la línia meridiana coincideix a la direcció d’un gnòmon vertical al moment en que la longitud de l’ombra sigui mínima (migdia solar).
8. El migdia solar també es pot determinar a partir de l’hora de sortida i posta del Sol.
9. El programa “Stellarium” permet determinar d’una altra manera el migdia solar, només mirant l’hora en que el Sol passa pel meridià local.
10. Hem calculat la declinació de la paret del pati de l’institut on volem instal·lar-hi el rellotge vertical: el valor mitjà obtingut a partir de 2 mètodes diferents és de $-15,5^\circ$.
11. Aplicant fórmules matemàtiques hem calculat els angles corresponents a les línies horàries del rellotge vertical en funció de la latitud de Lleida i la declinació de la paret.
12. Amb el programa informàtic “Shadows” hem dissenyat el quadrant solar declinant.
13. Per fer una bona estimació de l’exactitud d’un rellotge de sol cal que sigui precís. Hem esbrinat que el rellotge de sol horitzontal de la plaça del temps de Saragossa, malgrat tenir una precisió de ± 1 minut, no és exacte: va avançat 12 minuts. (annex I, rellotge 1).
14. Els rellotges de sol no marquen l’hora oficial, sinó l’hora solar, a la qual s’hi ha d’afegir una o dues hores (depenent si és horari d’hivern o d’estiu). A més cal tenir en compte la correcció de la latitud geogràfica (cal restar o sumar 4 minuts per cada grau de latitud est o oest).
15. Els lemes que alguns rellotges duen escrit als peus, mostren el vessant humà de l’aparell científic i reflecteixen la personalitat del quadranter i la mentalitat d’una època.

A mesura que avançàvem el treball ens hem adonat que encara hi ha noves línies de recerca al voltant de l’evolució de les ombres:

- a) Seria interessant, resseguir l’ombra del cap del gnòmon, a una mateixa hora, durant un any i dibuixar l’analema. A partir de l’analema i de l’altura del gnòmon, es podria intentar determinar la declinació màxima del Sol i conèixer, així, l’angle d’inclinació de l’eix de rotació de la Terra, tal com ja ho va fer Eratòstenes fa més de 2000 anys.

- b) Si bé hem dissenyat i construït un rellotge de sol declinant per l'institut, se'n podria dissenyar-ne també d'altres tipus: equatorial, horitzontal, analemàtic, etc.

En un principi la idea inicial era la construcció d'un rellotge per a l' institut i que aquest, fos un testimoni del pas del temps. Aquest objectiu s'ha assolit. Voldríem també destacar que una de les coses que més ens ha sorprès d'aquesta recerca ha estat descobrir l'ús que les diferents civilitzacions han fet de les ombres per situar-se en el temps: el pas d'observar l'evolució de l' ombra d' una muntanya, a l'ombra d' un obelisc, i finalment a l'ombra de l'estilet d' un rellotge de sol, els va permetre conèixer el moment del dia en que es trobaven cada cop amb més precisió.

Estic content i satisfet per la feina que hem fet, la qual ens ha permès donar resposta a les preguntes que ens havíem plantejat i assolir tots els objectius. El poder entendre el funcionament d'un rellotge de sol, ens ha permès endinsar-nos en el món de l'astronomia de posició i conèixer el moviment aparent del Sol en les diferents estacions i l'evolució de l'ombra d'un gnòmon en diferents punts de la Terra.

He aprofitat els viatges per visitar els rellotges i estudiar-ne les seves característiques. Em va impressionar visitar el rellotge de sol més precís del món a Saragossa. Penso que he après molt: se com s' ha de col·locar el gnòmon, i la importància que tenen les matemàtiques alhora de calcular les línies horàries per a que el rellotge sigui més exacte. Ara quan miro un rellotge de sol l'observo amb uns altres ulls.

Una curiositat és que abans les hores es dividien en quatre grups: prima, terça, sexta i nona. A l'actualitat no es diuen aquestes paraules, però quan anem a dormir sempre diem "anem a fer nones"?

6. Referències bibliogràfiques

1. M. Palau, Relotge de sol. Història i art de construir-los. Ed. Millà. (Biblioteca popular catalana num 12).ISBN 84-7304-014-7
2. E. Farré. “Temps i rellotges”. Fundació Caixa de Pensions”. ISBN 84-505-1809-1
3. Nicola Severino. Breve historia de la gnomónica. Consultat 01 agost 2014.
Disponible a <<https://www.yumpu.com/es/document/view/14843344/breve-historia-de-la-gnomonica-relojes-de-sol>>
4. C. Bou, et altri. Relotges de Sol de Catalunya. Editorial Efadós. ISBN: 84-95550-40-7
5. J. Amades “Els rellotges de sol”. Editorial Arxius de tradicions populars. ISBN: 84-85354-19-3
6. M. Mir. “El rellotge de sol medieval de Santa Maria de Rubió”. Consultat 13 agost 2014.
Disponible a <<http://www.raco.cat/index.php/Empuries/article/view/118441/28829>>
7. R. Reginaldo.”Astres i firmament. Descubrir l’univers”. Graò editorial. ISBN.84-85.729-21-8
8. C. Pallàs. “El rellotge de sol. Un món per descobrir. Consultat 09 setembre 2014.
Disponible a <http://www.gnomonica.cat/files/TREBALL_CRISTINA_PALLAS.pdf>
9. J. Fabregat, R. M. Ros, “Sobre l’horitzó”. Consultat 06 juliol 2014. Disponible a <http://es.unawe.org/resources/books/horitzo_catala/>
10. J. Masalles. “Disseny i construcció dels rellotges de sol”. Consultat 09 setembre 2014. Disponible a
<http://srvcnpbs.xtec.cat/cdec/images/stories/WEB_antiga/recursos/pdf/protocol_prim/rellotgesol.pdf>
11. Esteban Esteban. Un Universo por Enseñar. Publicaciones de ApEA. Julio 2009
12. Rosa M. Ros, “Horizonte local y relojes de sol”. Consultat 07 juliol 2014.
Disponible a
<<http://sac.csic.es/astrosecundaria/es/cursos/formato/materiales/talleres/T1%20Horizonte%20local%20final.pdf>>
13. D. Galadí i J. Gutiérrez. “Astronomía general”. Ediciones Omega. ISBN 84-282-1168-X
14. N. Campos “El misterio de la Tierra paralela”. Consultat 09 juliol 2014.
Disponible a
<http://archivado.unican.es/matesco/talleres_matematicas/transparencias20092010/transparencias-neila.pdf>

15. Rosa M. Ros, “Tierra paral·lela”. Consultat 10 setembre 2014.
Disponible a < <http://sac.csic.es/unawe/cuentos/tierra.pdf> >
16. “Stellarium”. Consultat 28 juny 2014. Disponible a <http://www.stellarium.org/es/>>
17. R. Masip. Rellotge de sol. Consultat 10 setembre 2014. Disponible a
<http://www.xtec.cat/~rnolla/TR/AG08/TR_AG.pdf>
18. M. Álvarez. “Programa de diseño y construcción de relojes de sol”. Consultat 11 setembre 2014.

Disponible a <<http://www.astrosafor.net/Huygens/2002/35/cuadrantes.htm>>
19. Equació del temps i analemes. Consultat 11 setembre 2014. Disponible a
<<http://www.astroosona.net/web/Apunts/Equaci%F3%20del%20temps%20i%20analemes.pdf>>
20. D. Soler. “Crea el teu rellotge de Sol vertical”. Consultat 29 juny 2014.

Disponible a <<http://sundial.damia.net/vertical/rellotgedesol.html>>
21. “Calendario solar” Consultat 28 juny 2014.
Disponible a <<http://www.tutiempo.net/calendario-solar>>
22. C. Jordi; R. Estalella, “Introducció de l’astronomia a l’aula”. Consultat 29 juny 2014. Disponible a <http://www.serviastro.am.uab.edu/twiki/pub/ServiAstro/WebDescarrega/Manual_Didactic_Astronomia.pdf>
23. <http://www.publico.es/culturas/453025/franco-desfaso-el-horario-espanol-para-sintonizar-con-los-nazis>
24. “Sobre la construcción de Relojes de sol. Consultat 11 setembre 2014. Disponible a
<<http://www.casanchi.freeiz.com/ast/sol1.htm>>
25. J. Vicente Pérez Ortiz. “La medición del tiempo y de los Relojes de sol. Consultat 12 setembre 2014. Disponible a
<<http://www.academiadelanzarote.es/Discursos/Discurso%2020.pdf>>
26. A Güell i Bara. “Projecte de construcció d’un rellotge de sol. Consultat 12 setembre 2014. Disponible a <http://www.xtec.cat/~rnolla/TR/AG08/TR_AG.pdf>
27. Societat catalana de gnomònica. Consultat 12 setembre 2014. Disponible a
<<http://www.gnomonica.cat/>>
28. Centre mediterrani del rellotge de sol. Consultat 12 setembre 2014. Disponible a
<<http://www.rellotgesdesol-cmrs.org/index2.php?idioma=catala>>
29. Tracker. Video Analysis and Modeling Tool. Consultat 13 setembre 2014.
Disponible a <https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>

7. Agraïments

Volia dedicar un especial agraïment a totes les persones que m'han ajudat en la meva recerca i que m'han orientat, i que han fet possible que el projecte de recerca hagi sigut una realitat.

A la meva tutora Teresa Closa per l'interès i l'entusiasme mostrats a l'hora de guiar-me pel camí de la recerca i per l'ajuda en la revisió de la redacció del treball, així com en la seva maquetació i la preparació per la presentació oral.

A la meva família, pel seu suport i la preocupació que m'han demostrat.

Al Centre de Recursos Pedagògics del Segrià per facilitar-me el model de la Terra Paral·lela.

Al professor Santiago Rodao de L' Institut Guindàvols per facilitar-me estris de dibuix.

Al professor José Manuel Pérez de l'institut d'Alcarràs per facilitar-me el programa de disseny de quadrants solars "Shadows".

Al professor Esteban Esteban de l'aula d'astronomia de Durango per facilitar-me informació sobre els diferents tipus de rellotges de Sol.

Al professor Xavier Franch de l' Institut Maria Rúbies per enviar-me fotos de diferents tipus de rellotges de Sol.

A la resta de persones que han col·laborat directament a la realització d'aquest treball.

A la resta d'amics i amigues de 2n de Batxillerat, pels moments d'angoixa compartits, que sempre són més bons de passar.

8. Annexes

Annex I: Fitxes descriptives de diferents rellotges de sol

RELLOTGE 1



Adreça: Plaza del tiempo /Calle Balbino Orensanz

Municipi: Saragossa (Saragossa)

Autor:

Data: 2011

Tipus: Rellotge horitzontal

Material: Gnòmon d'acer de 30 metres de longitud

Descripció: Rellotge horitzontal monumental amb nombres aràbics, és el rellotge més precís del món perquè entre dues hores consecutives hi ha 60 divisions, corresponents als minuts. Indica les hores des de les 6 a les 18 hores. Té un diàmetre de 40 metres i és el més gran del món

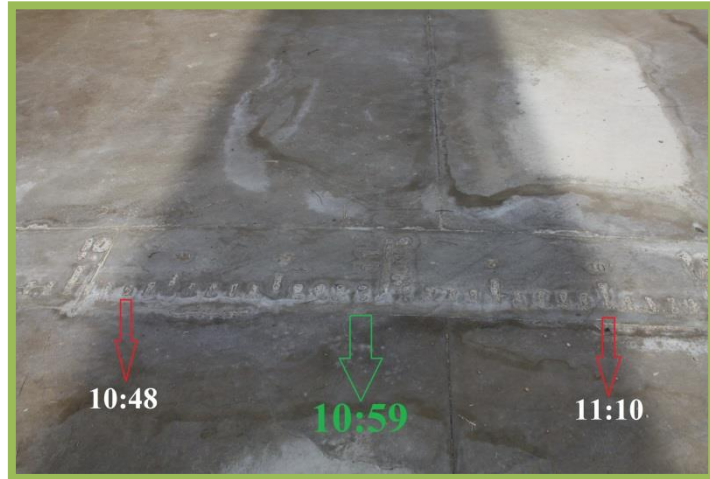
Lema: Zaragoza: Sostenible, renovable, ahorro ambiental, desarrollo.

Posició geogràfica: Latitud = 41,654167° N, Longitud = 0,859722 O

L'amplitud de l'ombra del gnòmon (Imatges 94 i 95) comprèn un període de temps de 22 minuts. L' hora solar local serà el valor mitja entre les 11:10 h i les 10:48 h. El valor és **10:59 h**



Imatge 94. Ombra del gnòmon



Imatge 95. Amplitud horària de l'ombra del gnòmon

Per passar de l' hora solar local a la civil hem de fer les següents correccions:

1. Horari d'estiu: **sumar dues hores**
2. Latitud: **sumar 3,5 minuts** ($0,86^\circ \times 4 \text{ min}/^\circ = 3,5^\circ \text{ min}$)
3. Equació del temps: **restar dos minuts** (6 de setembre)

Hora oficial: 10 h + 59 minuts + 2 hores + 3,5 minuts - 2 minuts = 13 hores + 0 minuts + 30 segons.

Aquesta foto fou realitzada el dia 6 de setembre de 2014 a les **12:47 h** (hora oficial, mesurada amb el rellotge de polsera), amb la qual cosa hi ha una diferència horària entre els dos rellotges de **12 minuts**.

Aquest rellotge va avançat 12 minuts. Aquest desfasament horari podria estar ocasionat per una petita imprecisió en l'angle de col·locació del gnòmon (Imatge 96) En efecte, hem mesurat l'angle que forma el gnòmon amb l' horitzontal amb l' ajut del programa tracker^[29]: el valor que hem mesurat és de **42,9°**, i aquest valor no coincideix amb la latitud de Saragossa (41,6°).



Imatge 96. Incliació del gnòmon del rellotge

RELOTGE 2



Adreça: Autovia de Saragossa a Osca. Sortida 321 on s'incorpora a la N-330 a la dreta

Municipi: Ontinar de Salz (Saragossa)

Autor: Rafael Carrique

Data: 2005

Tipus: Horitzontal

Material: Pedra

Descripció: Relotge horitzontal monumental decorat amb analemes de colors a les hores, línies dels solsticis i els equinoccis, línies horàries amb nombres romans (VI a XVIII), gnòmon (7 metres) acabat en bola i recolzat, cartell explicatiu, signes del zodíac.

Lema:

Posició geogràfica: Latitud = 41,9125° N , Longitud = 0,756666° O

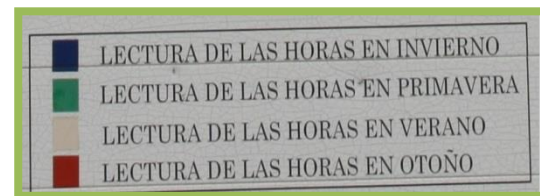


Aquest dibuix de quatre colors en forma de 8 s'anomena **analema**. Està situat damunt de les línies horàries (en aquest cas, les XII). L'analema fa la correcció de l' hora solar deguda a l' equació del temps. Cadascun dels colors es correspon amb una estació.

La foto es va fer el dia 6 de setembre de 2014 (estiu).

Quan l' ombra de la punta del gnòmon es situï sobre la línia groga seran les XII (hora **solar mitjana**: té en compta la correcció de l'equació del temps.)

Si es comparen els minuts de diferencia entre l' hora solar local (obtinguda llegint sobre la línia recta de les XII), amb l' hora solar mitjana (llegida sobre la corba analemàtica) s'obté l'equació del temps d'aquest dia.





Aquest rellotge no només marca l'hora, sinó que també serveix de calendari perquè disposa de les línies zodiacals. Per exemple: quan l'ombra de la punta del gnòmon assoleix la línia negra (línia equinoccial) estarem al 21 de març o al 21 de setembre



RELOTGE 3



Adreça: Rambla Pardinyes, Balàfia

Municipi: Lleida (Segrià)

Autor: Solé, J/Farré, E.

Data: 17/06/2006

Tipus: Horitzontal

Material: Pedra i ferro

Descripció: Relotge monumental. Llargada del gnòmon: 22 metres. Diàmetre del quadrant: 40 metres. Xifres romanes. Quadranter

Lema:

Posició geogràfica: Latitud = 41.626944° N, Longitud = 0,632222° E

RELLOTGE 4



Adreça: Pla dels Estudis

Municipi: Morella (Ports, Castelló)

Autor:

Data:

Tipus: Horitzontal

Material: Ciment i bronze

Descripció: Relloige horitzontal compost de pilons que assenyalen les hores i un gnòmon de bronze. Molt ben conservat.

Lema:

Posició geogràfica: Latitud: 40,618888° N, Longitud: 0,102480° O

RELOTGE 5



Adreça: Avinguda del Pelegrí, 15

Municipi: Tossa de Mar (La Selva, Girona)

Autor:

Data:

Tipus: Vertical declinant

Material: Rajoles de ceràmica

Descripció: Rectangular, orientació sud-est, línies horàries des de les 6 del matí fins a les 5 de la tarda, numeració romana, la línia de les 12 es vertical, gnòmon de vareta amb un Sol al pol, emmarcat amb sanefes, rellotge d'autor, ben conservat.

Lema:

Posició geogràfica: Latitud = 41.720150°, Longitud = 2.928850°

RELOTGE 6

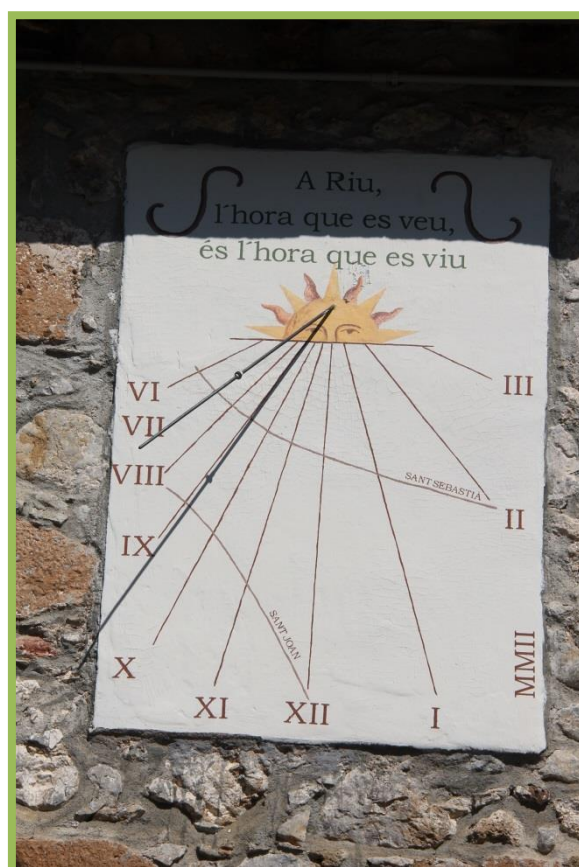


Foto: Xavier Franch

Adreça: Plaça Major

Municipi: Riu de Cerdanya (La Cerdanya, Lleida)

Autor:

Data: 2002

Tipus: Vertical declinant

Material: Pintura

Descripció: Rectangular. Declinació Sud-Est. Línies horàries de 6 a 3, amb xifres romanes. Té dos corbes de declinació solar (les dos línies solsticials). Sol emergent al pol. Molt ben conservat. Fa conjunt amb el rellotge de la façana principal, orientat Sud-Oest.

Lema: “A Riu, l’ hora que es veu, és l’ hora que es viu”

Posició geogràfica: Longitud: 1,826224° Latitud: 42,345868°

RELOTGE 7



Adreça: Camps Elisis, al barri de Cappont. En els seus inicis estava situat a les “Basses d’Alpicat”

Municipi: Lleida (Segrià)

Autor: Cots Massana, J.M

Data: 1963

Tipus: Equatorial helicoïdal

Material: Pedra artificial armada

Descripció: Relotge equatorial helicoïdal, xifres aràbigues metàl·liques. El gnòmon està doblegat i hi ha molta herba als seu voltant.

Lema:

Posició geogràfica: Latitud: 41,6152771° N Longitud: 0,633888° E

RELOTGE 8



Adreça: Casa Ferrer - Restaurant Celler del Mar (façana lateral) Passeig del Mar, 27-29

Municipi: Tossa de Mar (La Selva, Girona)

Autor:

Data:

Tipus: Vertical declinant

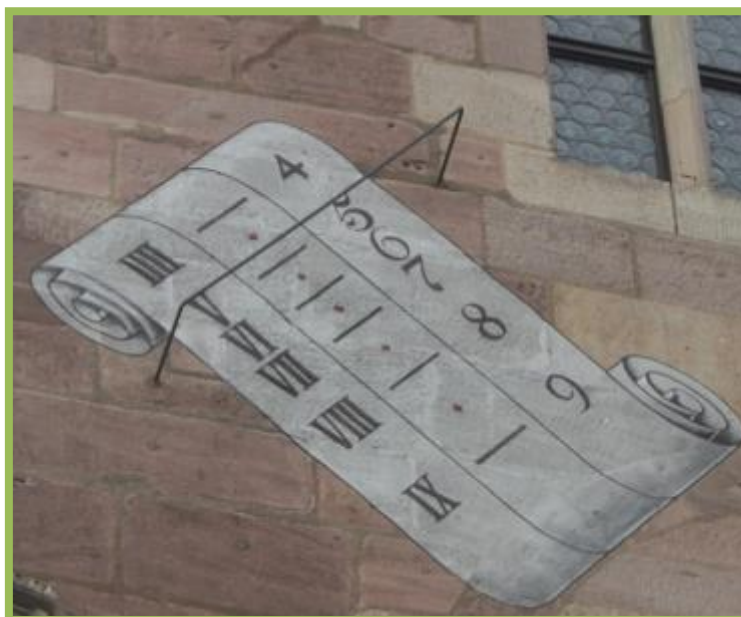
Material: A determinar

Descripció: Rectangular, no s'aprecien marques horàries ni cap rastre d'ornamentació. Gnòmon de vareta

Lema:

Posició geogràfica: Latitud = 41.718233°, Longitud = 2.932333°

RELOTGE 9



Adreça: Karolinenstraße 2

Municipi: Nuremberg, Alemanya

Autor:

Data: Es troba en un edifici romànic i no se sap la data

Tipus: Lateral orientat a l'est

Material: Pintat sobre pedra sorrenca

Descripció: El quadrant representa un pergamí de color blanc inclinat sobre la paret. On té pintades les línies horàries amb doble numeració aràbiga i romana, gnòmon paral·lel a la paret, les línies horàries van des de les 4 de la tarda fins a les 9 del vespre. Molt bonic i molt ben conservat

Lema:

Posició geogràfica: Latitud = 49.451110°, Longitud = 11.077731°

RELOTGE 10



Adreça: Karolinenstraße 2

Municipi: Nuremberg, Alemanya

Autor:

Data: 1550

Tipus: Vertical orientat

Material: Pintat sobre pedra sorrenca

Descripció: El rellotge de sol està pintat sobre la façana de la casa. Té forma semicircular. El quadrant representa un pergamí de color blanc inclinat sobre la paret, on té pintades les línies horàries amb numeració romana, gnòmon paral·lel a la paret, les línies horàries van des de les 7 del matí fins a les 5 de la tarda. Molt bonic i molt ben conservat

Lema:

Posició geogràfica: Longitud: 11.077731° N Latitud: 49.451110° O

RELOTGE 11



Adreça: Barri de Peñarroyas

Municipi: Montalbán (Terol)

Autor:

Data: 1882

Tipus: Vertical declinant

Material: A determinar

Descripció: Rectangular, orientació sud-est, línies horàries de les 5 del matí fins a les 4 de la tarda, línies horàries dels quarts d'hora, numeració aràbiga, mal conservat.

Lema: Prudencia Justícia

Posició geogràfica: Latitud: 40,851666° N Longitud: 0,757638° O

RELOTGE 12



Adreça: IES Tossa. Av. de Catalunya, 19

Municipi: Tossa de Mar (La Selva, Girona)

Autor:

Data:

Tipus: Vertical declinant

Material: Pintura

Descripció: Rectangular, orientació est, Línies horàries de les 6 del matí a les 3 de la tarda, numeració aràbiga, la línia de les 12 és vertical, incorpora cinc línies, amb analemes a cada hora, en l'ornamentació apareixen els símbols zodiacals, és pintat sobre la paret de color vermell granatós i de blanc la superfície del quadrant entre els solsticis, gnòmon de vareta amb una bola petita per senyalar el punt del calendari, Gnòmon paral·lel a la paret. rellotge d'autor, ben conservat.

Lema:

Posició geogràfica: Latitud 41.723750° N, Longitud 2.928817° O

RELOTGE 13



Adreça:

Municipi: Calar Alto, Almeria

Autor:

Data:

Tipus: Equatorial

Material: El quadrant

Descripció:

Lema:

Posició geogràfica: Latitud = 37,221583°N , Longitud = -2,548611° O

RELOTGE 14



Adreça: Greenwich Royal Observatory, Blackheath Avenue

Municipi: Londres, (Anglaterra)

Autor: Edwin Russell

Data: 1977

Tipus: Equatorial

Material: Bronze

Descripció: El gnòmon del rellotge està format per les puntes de les cues de dos dofins, les quals quasi bé es toquen. Les cues projecten una ombra sobre les línies horàries. Les línies petites indiquen els intervals de 10 minuts que hi ha entre cada hora.

Les línies horàries tenen línies corbades, en lloc d'ones rectes per permetre corregir les variacions solars aparents dels moviments diaris. El punt mig entre les ombres de les cues dels dofins indica l'hora correcta.

Lema:

Posició geogràfica: Latitud: 51,477777° N Longitud: 0,944444° O

RELOTGE 15

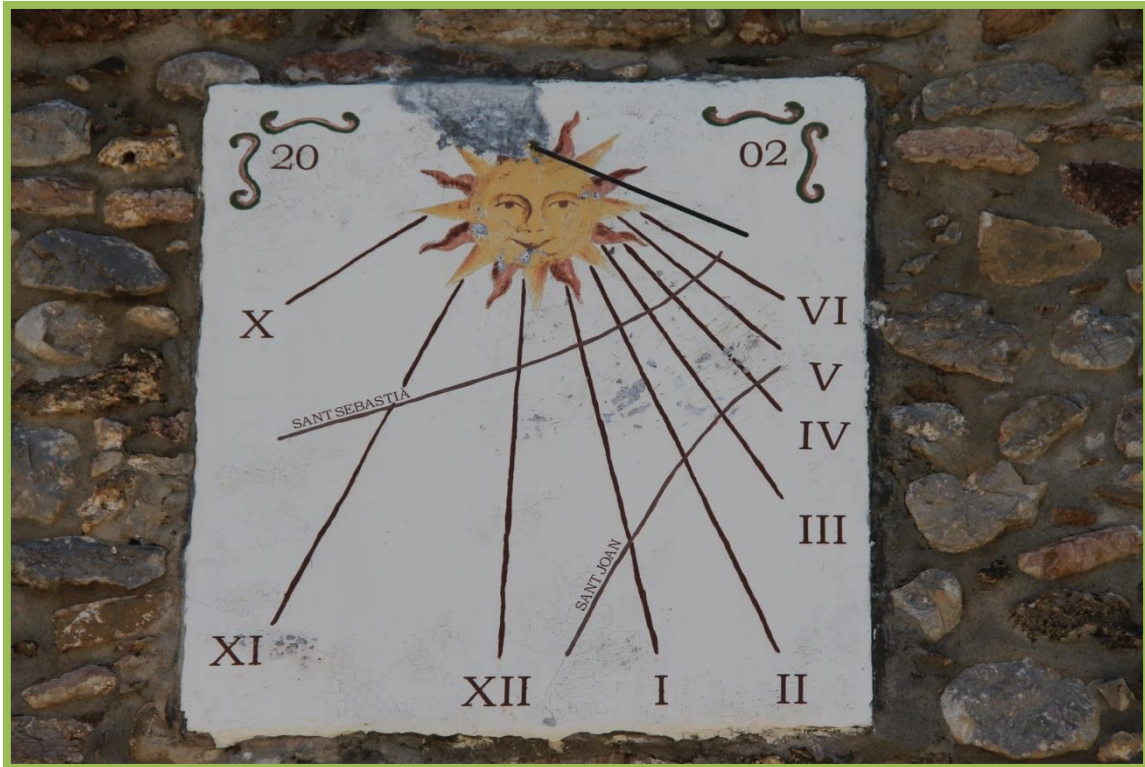


Foto: Xavier Franch

Adreça: Església parroquial de Sant Joan (façana sud-est). Plaça Major

Municipi: Riu de Cerdanya, (La Cerdanya, Lleida)

Autor:

Data: 2002

Tipus: Vertical declinant cap al sud-oest

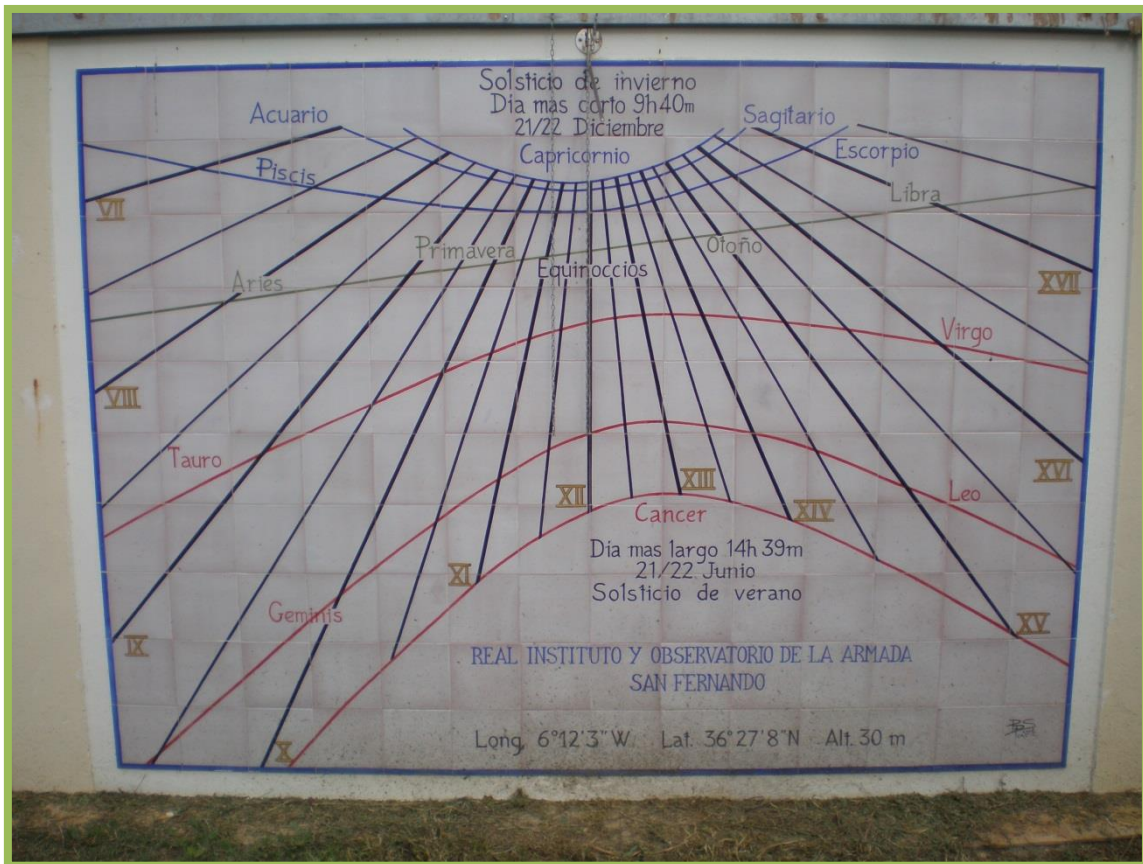
Material: Pintura

Descripció: Rectangular. Orientat Sud-Est. Línies horàries de 6 a 3, amb xifres romanes. Té corbes de declinació solar. Sol emergent al pol. Molt ben conservat. Fa conjunt amb el rellotge de la façana principal, orientat Sud-Oest.

Lema: A Riu, l'hora que es veu és l'hora que es viu.

Posició geogràfica: Longitud: 1,826229° Latitud: 42,345864°

RELOTGE 16



Adreça: Real Instituto y Observatorio de la Armada

Municipi: San Fernando, Cadis

Autor:

Data:

Tipus: Vertical orientat

Material: Rajoles de ceràmica

Descripció: Està fet a una paret on mostren les línies zodiacals, els signes del zodíac i l'ombra marca l'hora i el signe on estem a l'actualitat

Lema:

Posició geogràfica: Latitud 36,452222° S, Longitud: 6,208333° O

RELOTGE 17



Adreça: Santuari Mare de Déu de Caldes. Caldes de Boí

Municipi: Caldes de Boí, (Alta Ribagorça, Lleida)

Autor: Bartomeu Torres

Data:

Tipus: Vertical declinant

Material: Pintura

Descripció: Rectangular, pintat negre sobre blanc, molt sobri. Orientació: Sud-oest. Assenyala les hores i les mitges hores, de 9 a 4, amb xifres aràbigues. Molt ben conservat.

Lema:

Posició geogràfica: Latitud: 42, 563333 N. Longitud: 0,842500° E

RELOTGE 18



Adreça: Casa Rural Santa Maria. C/ Cap del Riu, 3

Municipi: Taüll, (Alta Ribagorça, Lleida)

Autor: Bartomeu Torres

Data:

Tipus: Vertical declinant

Material: Ciment i ferro

Descripció: Xifres romanes de ferro sobreposades, de 8 a 6, sense línies horàries.
Declina Sud-Oest

Lema:

Posició geogràfica: Latitud: 42,519166° N Longitud: 0,848611° E

RELOTGE 19



Adreça: Plaça Mercadal

Municipi: El Pont de Suert, (Alta Ribagorça, Lleida)

Autor:

Data: 1860

Tipus: Vertical

Material: Pintat sobre la paret

Descripció: Rectangular. Orientació Sud. Línies horàries de 5 a 7, xifres aràbigues. És de l'any 1860. Una mica deteriorat. Li falta el gnòmon

Lema: Antigament el lema era "Hora fugit" però sembla ser que ja no hi és

Posició geogràfica: Latitud: 42,407777° N, Longitud: 0,740277° E

RELOTGE 20



Adreça: Far de Tossa, Vila Vella

Municipi: Tossa de Mar (La Selva, Girona)

Autor:

Data:

Tipus: Canònic

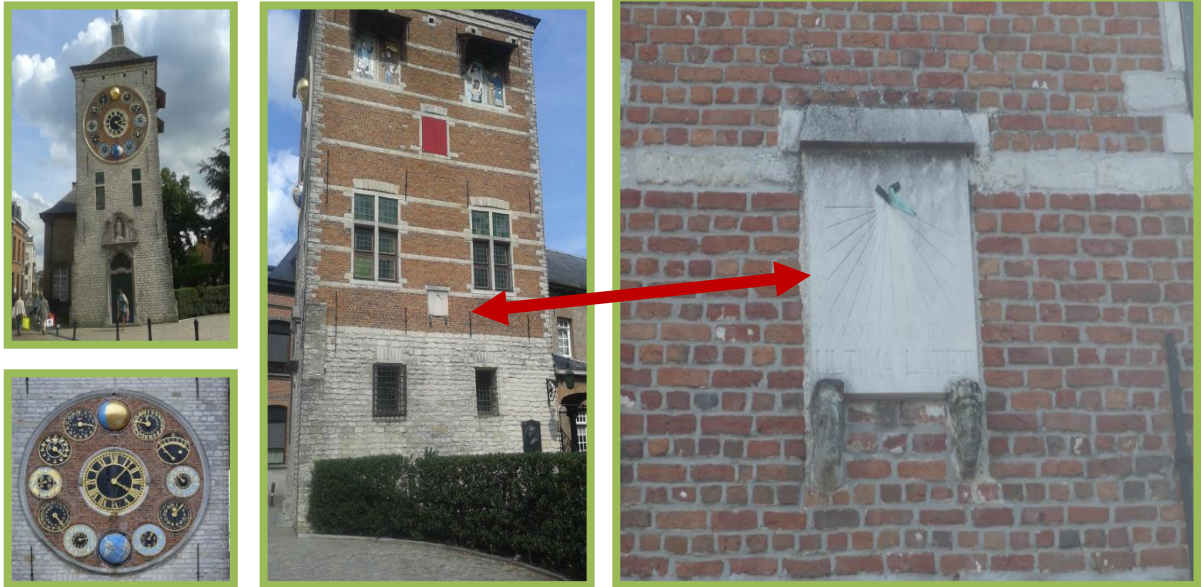
Material: Pedra

Descripció: Relotge canònic , gravat en una pedra que possiblement formava part de l'arc d'una porta o finestra, i que actualment forma part d'un monòlit instal·lat al peu del Far de Tossa.

Lema:

Posició geogràfica: Latitud = 41.715883°, Longitud = 2.934033°

RELLOTGE 21



Adreça: Zimmerplein

Municipi: Liege, Bèlgica

Autor: Louis Zimmer

Data: Es troba en la “Zimmer Tower”

Tipus: Orientat al sud est

Material: Pedra i ferro forjat

Descripció: El quadrant del rellotge està adossat sobre la paret de totxo de la Torre i sostingut per dos capitells molt treballats que recorden formes típiques del romànic. El gnònom és de ferro forjat i té la numeració romana.

Lema: Ultima latet (Primera part de l'expressió *Ultima latet ut observentur omnes* = L'última hora està amagada perquè observem totes)

Posició geogràfica: Latitud = 51°07'00''N, Longitud = 04°34'00''E

RELLOTGE 22



UTILITZANT EL SOL COM A RELLOTGE

Situat sobre el mes de l'any en que estem, i la teva ombra t'indicarà l'hora .

Durant l'estiu cal sumar-hi una hora.



Adreça: Plaça

Municipi: Franeker (Friesland), Holanda

Autor: Desconegut

Data: Es troba en un edifici romànic i no se sap la data

Tipus: Rellotge de sol analemàtic

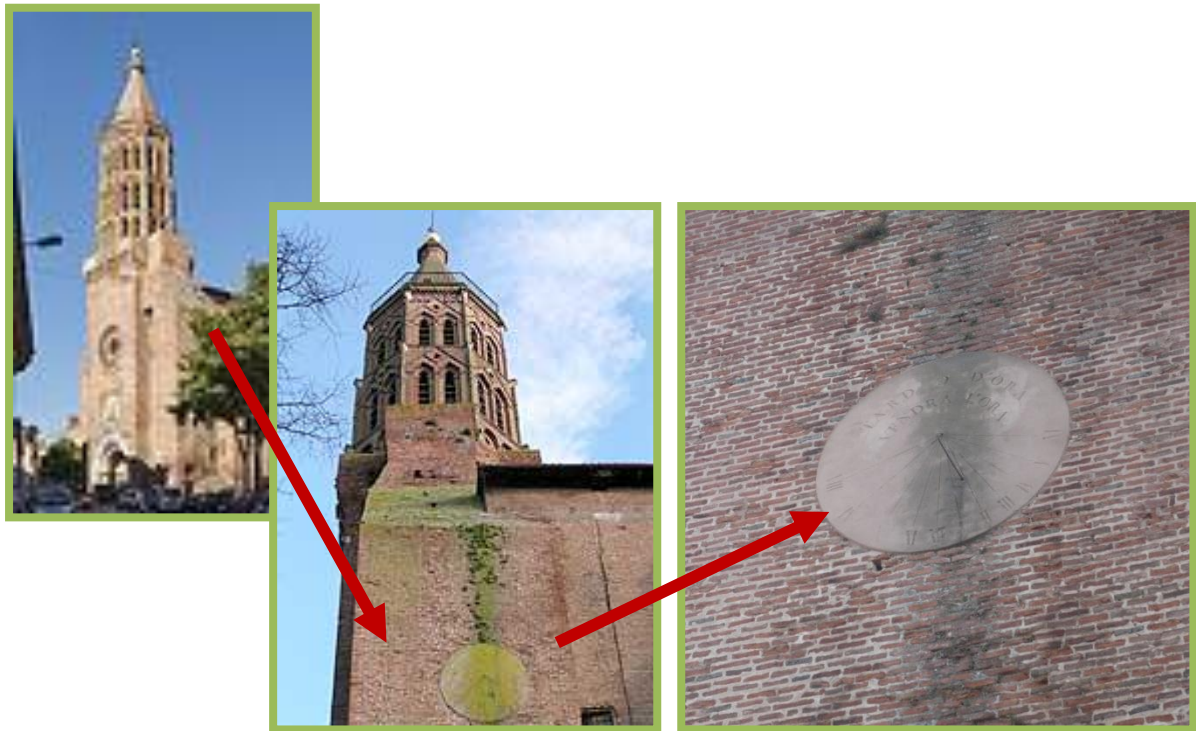
Material: marbre i acer

Descripció: De forma esfèrica ocupa bona part del terra de la plaça. El gnòmon és paral·lel al terra i és d'acer, la numeració és romana.

Lema: -

Posició geogràfica: Latitud = 53°11'15''N, Longitud = 5°32'22''E

RELOTGE 23



Adreça:

Municipi: Montauban (Tarn-et-Garonne) França

Autor: Desconegut

Data: Es troba en la façana de l'església gòtica de St Jacques.

Tipus: Lateral sud est

Material: ciment i pedra

Descripció: De forma circular , està adossat sobre la paret de totxo.El quadrant representa un pergamí de color blanc inclinat sobre la paret. Les línies horàries amb numeració romana, les línies horàries van des de les 8 del matí fins a les 6 de la tarda.

Lema: “Tard o d’ora, vendrà l’ora” occità

Posició geogràfica: Latitud = 44 °01’05’’N, Longitud = 01°21’21’’

Annex II. Franco avança l' hora civil 60 minuts

La causa del desfasament horari d'Espanya respecte a l' hora que li correspon per posició geogràfica el trobem als anys de la dictadura, quan Franco (1940) va decidir avançar un hora els rellotges per estar en sintonia amb l' hora que Alemanya havia imposat en tots els seus territoris ocupats (GMT + 1:00) (Imatge 94)



Imatge 94. Franco decideix avançar l' hora d'Espanya una hora per simpatitzar amb Hitler.

<http://fotos01.laprovincia.es/2013/09/20/318x200/2012-09-26img2012-09-2615-54-47franco-hitler.jpg>

La decisió del règim va sortir publicada al “ Boletín Oficial del Estado” el 16 de març de 1940:

Orden del 7 de marzo de 1940 sobre el adelanto de la hora legal 60 minutos a partir del 16 de los corrientes.

Artículo 1.º - El sábado 16 de marzo, a las veintitrés horas, será adelantada la hora legal en sesenta minutos.

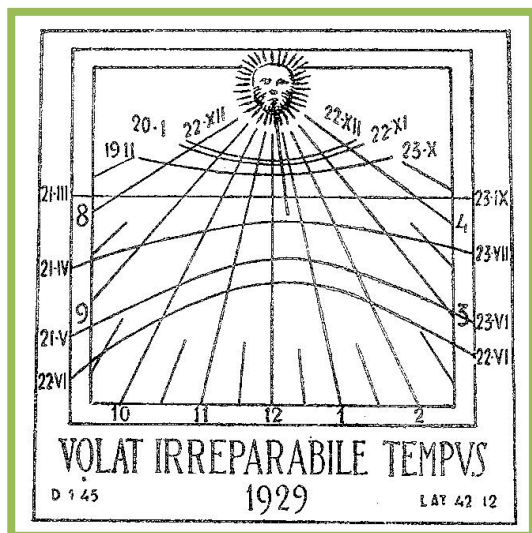
Artículo 5.º - Oportunamente se señalará la fecha en que haya de restablecerse la hora normal.

Fins al 1942, els rellotges espanyols marcaven una hora menys que l' actual (GMT + 0:00), la mateixa que tenen avui en dia, Anglaterra, Portugal i les Illes Canàries, i la que a Espanya li correspon per la seva situació geogràfica, perquè el meridià de Greenwich passa per Castelló i deixa pràcticament a tota la península a l' oest.

El més sorprenent és que hagin passat 74 anys i no s'hagi tornat a la normalitat

Annex III. Llegendes o lemes

Un dels aspectes més interessants dels rellotges de sol són les llegendes^[5] o refranys que duen al peu. Solen ser unes frases curtes que mostren el vessant humà d'un aparell científic com un rellotge de sol i en el que el quadranter hi reflecteix la seva personalitat i la mentalitat de l'època. Tot sovint expressen la posició de l'home a l'univers: davant el pas del temps, la mort o Déu. Sembla ser que aquestes llegendes van aparèixer al segle XI i escrites en llatí decadent i vulgar (Imatge 95).



Imatge 95. Rellotge de sol de l'església de Sant Pere de Ripoll.

Lema en llatí vulgar:
"VOLAT IRREPARABILE TEMPVS"

El lema més antic que s'ha trobat en un rellotge del nostre país pertany al rellotge de l'església de Sant Andreu (La Selva del Camp) construït l'any 1588:

"Dies mei sicut umbra declinaverunt" "Els meus dies com l'ombra declinaren". És un lema de temàtica clàssica on el quadranter s'aprofita del rellotge de sol per fer un paral·lelisme entre l'evolució de l'ombra del gnòmon i la corba que descriu el cicle vital dels humans.

Un altre lema en llatí que sovintega en els rellotges de Catalunya és:

"Horas non numero nicipi serenes" "Només compto les hores serenes (brillants, felices)". Església de Sant Josep Oriol (Barcelona). Aquest lema també apareix en català en un rellotge del 1963 a la plaça major de Sant Privat, a la Vall d'en Bas, la qual cosa ens indica que fins a la data actual si no s'ha perdut el gust per als lemes amb temàtica clàssica. En aquest lema s'aprecia molt bé que està redactat en primera persona fet que dóna vida al rellotge.

Altres lemes llatins són:

"Postnubila clarior" /Després dels núvols, més claror.

"Dum spectas fugio" /Mentre em mires fujo

"Festina, Mox Nox" /Fes via, que aviat serà de nit

"

Molts lemes són refranys on gairebé sempre és el rellotge qui parla: l'autor de la llegenda ha posat les seves paraules en boca del rellotge:

“Només marco les hores brillants”
“Totes les hores fereixen i la darrera mata”
“Treballa que el temps es breu”

Moltes llegendes estan escrites en vers; sembla ser, que així, el rellotge tenia més credibilitat davant la gent en la certesa del temps que assenyalava.

Una de les temàtiques que més lemes ha inspirat, i en diferents idiomes, ha estat la fugacitat del temps: “*Passen... passen les hores i no tornen més*”. Casa museu Delger, Caldes de Montbui

Les llegendes i refranys sota els rellotges de sol es classifiquen en: **enigmàtiques, filosòfiques i humorístiques.**

Llegendes enigmàtiques

Els pobles antics donaven una excepcional importància als enigmes i això queda reflectit en les llegendes dels rellotges:

“*Com més Sol fa més bé escric*” Maison Lanelongue (Vilafranca de Conflent). Descriu la seva pròpia relació amb la llum del Sol.

*“De cara al sol
sóc molt valent,
i quan s’ha post
sóc mort.”*

*“No parlo amb la boca,
que parlo amb el nas
i del que jo dic,
tothom en fa cas.”*

*“Quan el sol passa
jo menjo la casa;
quan el sol ha passat
la meva feina s’ha acabat.”*

*“Parlo tot sol
sempre de cara al sol;
quan tinc el sol darrera
he acabat la parlara.”*

*“Del món sóc el més valent:
sóc amic del sol,
sempre vaig amb ell
i faig la llei al temps.”*

Llegendes filosòfiques o espirituals

Aquestes llegendes i refranys parlen amb un aire de suficiència sobre el temps, i d'altres ho fan d'ells mateixos i de la seva manera de ser. Són lemes que busquen la reflexió individual, sempre amb la intenció de prevenir-nos contra l'autosuficiència i l'orgull i recordar la finita condició humana. Mai prenen caràcter d'enigma:

“Tempus nostrum solius dei sit” / “Que el nostre temps sigui sols de Déu” (Hospederia del monestir, Santa Cristina d'Aro) (1753)

Dins d'aquesta temàtica els dos lemes llatins que més sovintegen en els quadrants d'arreu són: *“Tempus fugit”* o *“Fugit tempus”* / El temps fuig. Església de Santa Maria. Caldes de Montbui, i *“Carpe diem”* / Cull el dia d'avui. Carrer de Carreras Candi, 15 Argenton. Sembla ser que han estat molt utilitzats per ser concisos i perquè imprimeixen caràcter d'antiguitat al quadrant.

El lema en llengua catalana més recurrent dins d'aquesta temàtica és *“Jo sense sol, tu sense fer no valem res”*. Monestir de Santes Creus, Aiguamúrcia

Altres lemes són:

*“Les hores passades
no són recordades:
les que han de venir
no em fan sofrir:
només estic atent
a l'hora present.!”*

*“Les hores passen volant
pel meu davant;
jo no les puc deturar
i amb paciència les compto.”*

*“Qui us pogués allargar
quan sou ditxoses!
qui us pogués escursar
quan sou penoses.”*
*“Les hores fugen depressa,
fugen i no tornen més.”*

*“Sense rodes
molles ni pes,
marca el sol
la hora que és.”*

Llegendes humorístiques

Els refranys d'aire humorístic no són tant abundants com els altres i tendeixen a riure's del qui se'ls mira.

“Ce mires, ce mires, mucol. Ce no veus, que soc un rellotge de col?”. Ca'l Vicari, Riudarenes. Aquest lema apareix en altres indrets escrits amb la normativa actual.

“Corro més que una barqueta i dono l' hora a la Barceloneta”. Carrer Barceloneta, 5. Calafell. Fa al·lusions al medi mariner

Altres llegendes són:

*“Tu que em mires
no envegis la meva sort:
penjat de cara al sol
i sempre amb un pam de llengua!”*

*“Què mires badoc,?
Quan no fa sol
No faig goig.”*

Annex IV: Glossari.

Coordenades geogràfiques

Sobre l'esfera terrestre (imatge) es defineixen els següents elements:

Eix de rotació: eix imaginari que travessa la Terra, la qual gira al seu voltant

Pols: interseccions de l'eix de rotació amb la superfície terrestre

Equador: circumferència màxima, perpendicular a l'eix de rotació i que passa pel centre de la Terra

Paral·lels: circumferències menors, paral·leles a l'equador

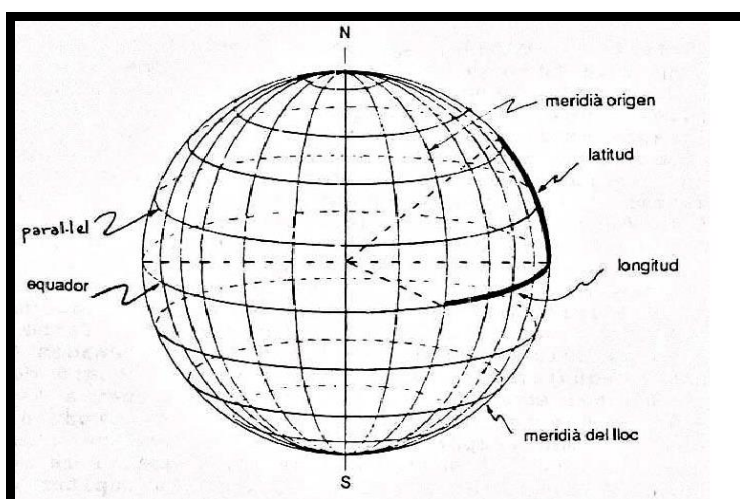
Meridians: circumferències màximes que passen per ambdós pols

Meridià del lloc: el meridià que passa per un lloc determinat

Meridià origen: el que s'agafa com a referència (generalment el que passa per la ciutat anglesa de Greenwich)

Latitud (λ): angle sobre el meridià del lloc des de l'equador fins al punt considerat. Positiva cap al nord i negativa cap al sud

Longitud (Φ): angle sobre l'equador des del meridià origen fins al meridià del lloc. Positiva cap a l'est i negativa cap a l'oest.



Imatge 96. Línies i coordenades sobre la Terra .

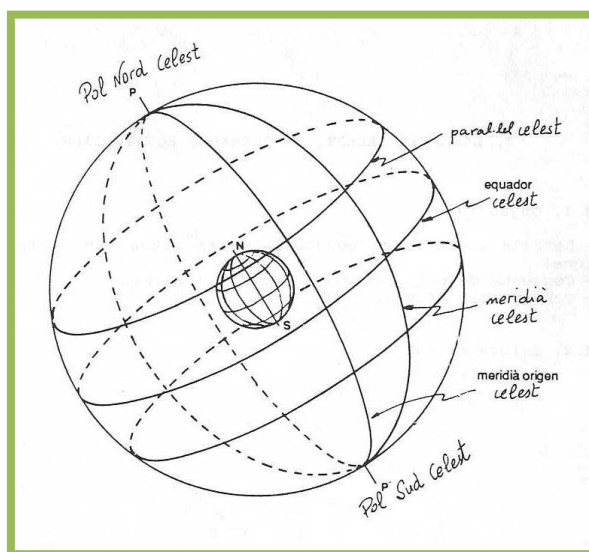
http://www.serviastro.am.ub.edu/twiki/pub/ServiAstro/WebDescarrega/Manual_Didactic_Astronomia.pdf

L'esfera celeste, coordenades equatorials

En observar els astres del cel podem apreciar les direccions cap on veiem els astres, però no podem apreciar a quina distància són. Aparentment, és com si tinguéssim una esfera (**l'esfera celeste**) que ens envolta i on es projecta tots els astres. (imatge 90)

L'esfera celeste^[1] és una esfera imaginària que envolta l'observador, normalment situat sobre de la Terra. El radi de l'esfera és arbitrari.

S'introdueix l'esfera celeste com una extensió de l'esfera terrestre. Sobre aquesta esfera es defineixen les coordenades equatorials.



Imatge 97. Línies i coordenades a l'esfera celeste

http://www.serviastro.am.ub.edu/twiki/pub/ServiAstro/WebDescarrega/Manual_Didactic_Astronomia.pdf

Pols celestes: projecció dels pols terrestres sobre l'esfera celeste

Equador celeste: projecció de l'equador terrestre sobre l'esfera celeste

Paral·lel celeste: circumferència menor, paral·lela a l'equador celeste (és equivalent a projectar un paral·lel celeste)

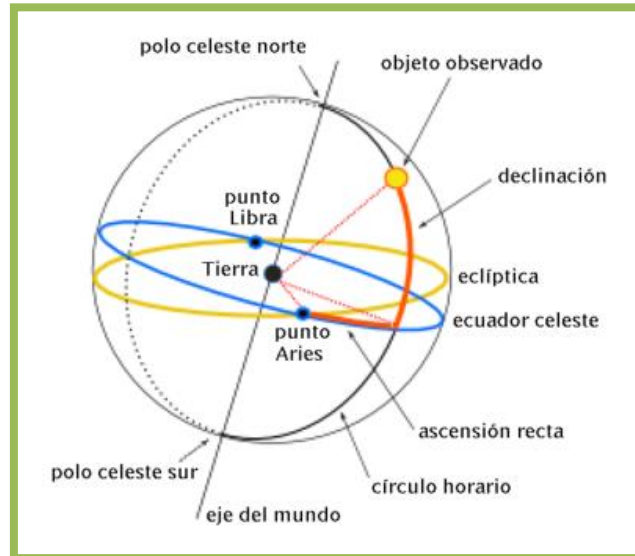
Meridià celeste: circumferència màxima que passa per ambdós pols celestes (és equivalent a projectar un meridià celeste)

Eclíptica: Moviment aparent que descriu el Sol sobre l'esfera celeste durant un any vist des de la Terra.

Punt Àries: punt de l'equador celeste, que s'agafa com a origen de les ascensions rectes. Conegut també com equinocci de primavera, és el punt per on el Sol travessa l'equador celeste, al voltant del 21 de març. (El meridià que passa pel punt Àries fa el mateix paper que el meridià origen a les coordenades geogràfiques)

Declinació (δ): angle sobre el meridià d'un astre, des de l'equador celeste fins l'astre considerat. Positiva cap al nord, negativa cap al sud. Es mesura en graus, entre -90° i $+90^\circ$. (És equivalent a la latitud a les coordenades geogràfiques)

Ascensió recta (α): angle sobre l'equador celeste des del punt Àries fins al meridià celeste d'un astre. Creix cap a l'est. Es mesura en hores, entre 0^h i 24^h . (Fa el mateix paper que la longitud terrestre).

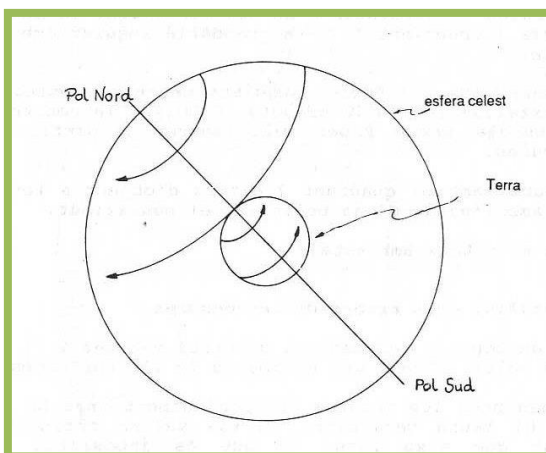


Imatge 98. Coordenades equatorials: declinació i ascensió recta

http://4.bp.blogspot.com/_Sg2kckPji7k/TOrGuiry8II/AAAAAAAAACE/QL57gww2a6o/s1600/declinacion%255B1%255D.png

Coordenades horitzontals

L'esfera celeste vista des d'un lloc a la superfície de la Terra està inclinada respecte de la vertical (imatge 93). A més aparentment aquesta esfera gira degut al moviment de la Terra entorn del seu eix. (imatge 93).



Imatge 99. Moviment diürn.

http://www.serviastro.am.ub.edu/twiki/pub/ServiAstr/o/WebDescarrega/Manual_Didactic_Astronomia.pdf

Sobre aquesta esfera inclinada es defineixen nous angles i punts de referència.

Definicions:

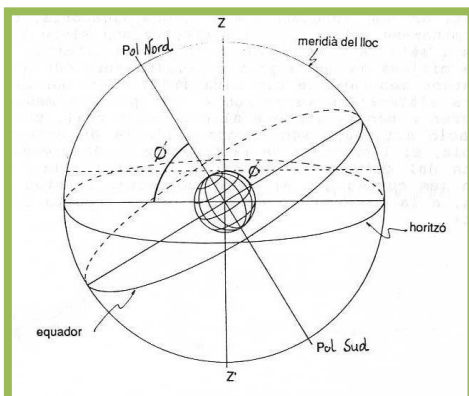
Zenit i nadir: interseccions de la vertical que passa per l'observador amb l'esfera celeste. El zenit és el punt de l'esfera celeste a la vertical del nostre cap (z), i el nadir a sota els nostres peus (z')

Horitzó celeste: projecció del pla horitzontal que passa per l'observador sobre l'esfera celeste

Punt cardinal nord: projecció del pol nord celeste sobre l'horitzó. Es pren com a origen dels azimuts

Altura (h): angles des de l'horitzó celeste fins l'astre considerat. Positiva per sobre de l'horitzó, negativa per sota. Es mesura en graus, entre -90° i $+90^\circ$

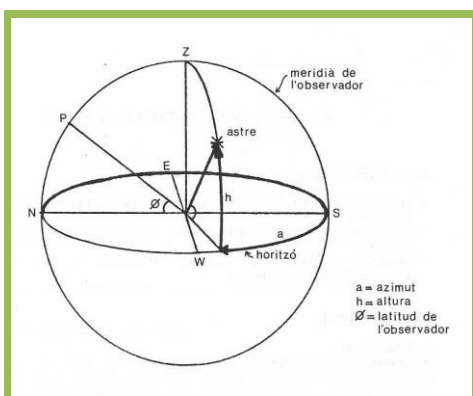
Azimut (a): angle sobre l'horitzó celeste des del punt cardinal nord fins la projecció de l'astre sobre l'horitzó. Creix cap a l'est. Es mesura en graus, entre 0° i 360° . El punt cardinal nord té $a=0^\circ$; l'est $a=90^\circ$; el sud $a=180^\circ$ i l'oest $a=270^\circ$.



Imatge 100. L'esfera celeste. Latitud del lloc.

La latitud del lloc ϕ és l'angle que forma l'eix de rotació terrestre sobre el pla de l'horitzó. Aquest dibuix no està fet a escala, ja que la Terra es redueix a un punt si la comparem amb el radi infinit de l'esfera celeste.

http://www.serviastro.am.ub.edu/twiki/pub/ServiAstro/WebDescarrega/Manual_Didactic_Astronomia.pdf



Imatge 101. L'esfera celeste, altura i azimut.

http://www.serviastro.am.ub.edu/twiki/pub/ServiAstro/WebDescarrega/Manual_Didactic_Astronomia.pdf