ELEMENTOS DE COSMOGRAFIA

PARA

QUINTO AÑO DE LOS COLEGIOS NACIONALES

ELEMENTOS

DE

COSMOGRAFIA

QUINTO AÑO

Texto ajustado estrictamente al programa de Cosmografía
de los Colegios Nacionales

Por los Profesores Diplomados en Matemáticas y Cosmografía

Ing. HÉCTOR J. MEDICI

PROFESOR DEL COLEGIO NACIONAL
NICOLÁS AVELLANEDA, DEL COLEGIO MILITAR
DE LA NACIÓN Y DE LA
ESCUELA NORMAL DE PROFESORES M. ACOSTA

Ing. EMANUEL S. CABRERA

PROFESOR
DEL COLEGIO NACIONAL BARTOLOMÉ MITRE
Y DEL
COLEGIO NACIONAL BERNARDINO RIVADAVIA

TERCERA EDICION CORREGIDA

Librería de GARCIA SANTOS
MORENO 500
BUENOS AIRES
1934

OBRAS DE LOS AUTORES

Elementos de Aritmética, ... *Primer curso,* 9ª edición
Elementos de Aritmética, ... *Segundo curso,* 8ª edición
Elementos de Aritmética y Algebra, . . . *Tercer curso,* 5ª edición
Elementos de Aritmética y Algebra, . . . *Cuarto curso,* 2ª edición
Elementos de Geometría, ... *Primer curso,* 9ª edición
Elementos de Geometría, ... *Segundo curso,* 8ª edición
Elementos de Geometría, ... *Tercer curso,* 7ª edición
Elementos de Geometría del Espacio, . . *Cuarto curso,* 5ª edición
Matemáticas para Primer Año de las Escuelas Normales, 3ª edición
Matemáticas para Segundo Año de las Escuelas Normales, 2ª edición
Matemáticas para Tercer Año de las Escuelas Normales, 4ª edición
Elementos de Cosmografía, ... 3ª edición

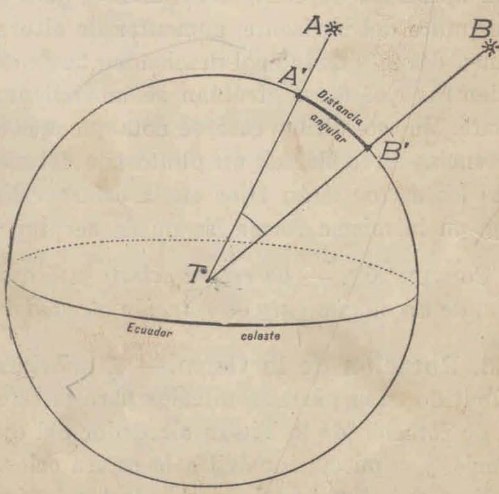
Bs. Aires - Est. Gráfico TOMAS PALUMBO - La Madrid 321-325 - U. T. 21-1733

CAPITULO I

ESFERA CELESTE

Programa. — *Esfera celeste. Su movimiento aparente, rotación de la tierra. Eje del mundo; los polos, el Ecuador, los círculos paralelos, los círculos de declinación. Coordenadas geográficas. Círculos y meridianos terrestres. Longitud y latitud geográficas. Vertical de un lugar terrestre, cenit, nadir. Planos verticales. Horizonte: definiciones diferentes. El meridiano y la meridiana. Altura del polo es igual a la latitud terrestre.*

1. **La Esfera Celeste.** — Con el objeto de facilitar el estudio de los movimientos de los astros, y determinar las leyes de estos movimientos, es conveniente representarlos sobre una misma superficie esférica a la que se le da un nombre de acuerdo con la siguiente:



Definición.—Se llama *esfera celeste*, a una superficie esférica de radio arbitrario lo suficientemente grande para con respecto a él resulte despreciable el radio terrestre y cuyo centro es un punto cualquiera de la Tierra.

Esta definición está de acuerdo con la idea que uno se forma al contemplar el *cielo* (pero conviene hacer notar que eso es solo una apariencia producida por la naturaleza de la atmósfera) y con las siguientes consideraciones:

Las visuales dirigidas por el observador a cada uno de los astros son semirrectas que cortan a la esfera celeste en un punto. El conjunto de esos puntos de intersección se denomina *esfera estrellada*.

Si se consideran dos astros cualesquiera A y B cuyas distancias al observador O sean distintas, como el ángulo que forman las visuales correspondientes a estos astros es independiente de dichas distancias y el arco que las intersecciones de esas visuales determinan sobre cualquier superficie esférica de centro O tiene la misma medida que ese ángulo, resulta que puede prescindirse de las distancias de los astros al observador si se consideran en lugar de éstos sus proyecciones sobre la esfera celeste. Así lo haremos en lo sucesivo. Además siendo el radio de la tierra muy pequeño (6300 Km) con respecto a las distancias de la misma a las estrellas (41.000.000.000.000 Km para α del *Centauro* que es una de las más cercanas) resulta despreciable en comparación con esas distancias, por lo que la Tierra puede considerarse como un punto.

2. **Movimiento aparente de la esfera celeste.** — La observación del cielo en una noche estrellada permite constatar que los astros están animados de cierto movimiento, pues se ven algunos surgir en un punto del horizonte, aumentar de altura hasta alcanzar una máxima, después de la cual descienden hasta desaparecer bajo el mismo, mientras que otros efectúan su movimiento completo sobre el horizonte. En este último caso, se nota que esas estrellas describen circunferencias alrededor de un punto fijo del cielo. Si suponemos que todos los astros están fijos en la esfera celeste y que todos se mueven en la misma forma, se puede aceptar la siguiente:

Convención. — *La esfera celeste está animada respecto de la Tierra, de un movimiento de rotación alrededor de uno de sus diámetros.*

3. **Rotación de la tierra.** — El movimiento ~~circular~~ de rotación admitido en el párrafo anterior para la esfera celeste, es equivalente al de rotación de la Tierra alrededor del eje mundo, en sentido contrario, y supuesta inmóvil a la esfera celeste.

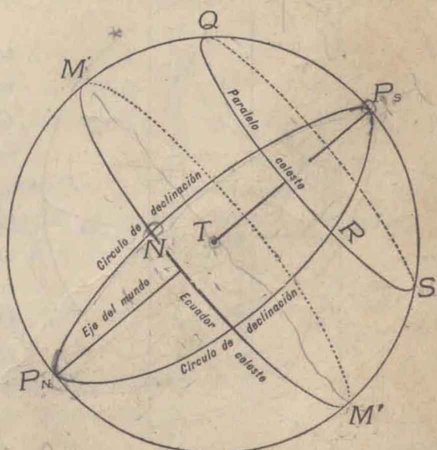
Esto significa que las leyes de los fenómenos astronómicos deducidas por cualquiera de estas dos hipótesis son las mismas, lo cual se prueba en Mecánica.

4. **Eje del mundo; los polos. Ecuador, paralelos, círculos de declinación.** — Definición I. — Se llama *eje del mundo* $P_S P_N$ al diámetro alrededor del cual gira la esfera celeste respecto de la Tierra. Se llaman *polos celestes* a los extremos P_S y P_N de ese diámetro.

plano del Ecuador

Definición II. — Se llama ~~*Ecuador celeste*~~ al plano perpendicular al eje del mundo en el centro de la Tierra.

La intersección de ese plano con la esfera celeste es una circunferencia máxima MNM′ que ~~también~~ lleva el nombre de Ecuador celeste.



Definición III. — Se llama *paralelo celeste* a todo plano perpendicular al eje del mundo. Las intersecciones de esos planos con la esfera son circunferencias menores tales como el QRS llamadas también paralelos.

Definición IV. — Se llaman círculos *de declinación* o *meridianos celestes* a los planos que pertenecen al eje del mundo. Las circunferencias máximas tales como $P_S N P_N$ intersecciones de esos planos con la esfera celeste se llaman también meridianos (*).

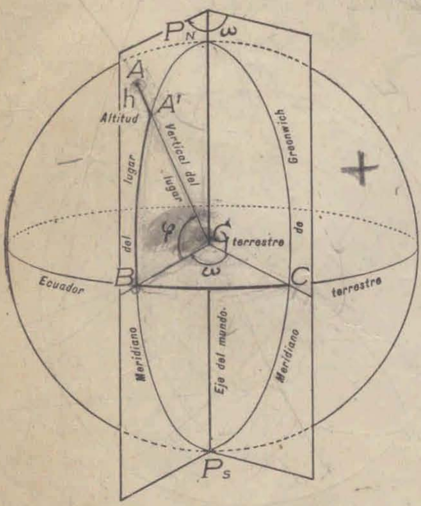
5. **Coordenadas geográficas.** — Habíamos aprendido, al estudiar Geografía, que las *coordenadas geográficas* sirven para determinar un punto cualquiera de la Tierra.

Esas coordenadas eran la *longitud terrestre*, la *latitud terrestre* y la *altitud*, y sus definiciones las siguientes:

(*) Recuérdese (*Geom. del espacio*, nº 176) que la intersección de un plano con una superficie esférica es siempre una circunferencia que se llama *máxima* cuando su plano pasa por el centro de la misma porque en ese caso su centro y su radio son los mismos que los de la esfera, y circunferencias *menores* en los otros casos.

Definición. — Se llama *longitud terrestre* de un lugar A (considerado como un punto) al ángulo diedro que tiene por caras a un meridiano que se toma como origen y al meridiano de ese lugar.

Si se supone a la Tierra esférica, la longitud de un lugar sería igual al arco del Ecuador comprendido entre el pie B del meridiano del lugar y el del meridiano origen C, puesto que la sección normal ω del diedro formado por esos meridianos es un ángulo central, luego tiene por medida la del arco BC que abarcan sus lados.



Coordenadas geograficas del lugar *A*.
Longitud = ω, *latitud* = φ y *altitud* = *h*.

Él meridiano que nosotros tomaremos como origen es el meridiano del *Observatorio de Greenwich*, adoptado universalmente.

El plano del meridiano de Greenwich divide a la Tierra en dos hemisferios. A los puntos situados en el hemisferio Occidental se le atribuye *longitud positiva* y a los del otro hemisferio *longitud negativa*.

Las longitudes se miden, a partir del meridiano origen positivamente hacia el Oeste y negativamente hacia el Este y de 0° a 180° o de 0 horas a 12 horas.

Notación. — Las longitudes se designan con la letra griega ω.

Definición. — Se llama *latitud terrestre* de un lugar A (considerado como un punto) al ángulo de la vertical de ese lugar con el plano del Ecuador (*).

Si se supone a la Tierra esférica, la latitud de un lugar sería igual al arco del meridiano $\overset{\frown}{A'B}$ comprendido entre el lugar y el pie de

(*) Recuérdese que se llama ángulo de una recta con un plano el ángulo agudo que ella forma con su proyección sobre el mismo.

su meridiano sobre el Ecuador, puesto que el ángulo φ por ser un ángulo central tiene por medida la del arco $\widehat{A'B}$ que abarcan sus lados.

El plano del Ecuador divide a la Tierra en dos hemisferios. A los puntos situados en el hemisferio Norte se le atribuye latitud positiva y a los situados en el Sud latitud negativa. Las latitudes varían de 0° (en el Ecuador) a $+90°$ o $-90°$ (en los polos).

NOTACIÓN. — Las latitudes se representan con la letra griega φ.

DEFINICIÓN. — Se llama *altitud* o *cota* de un lugar A (considerado como un punto) al segmento de vertical $\overline{AA'}$ comprendida entre el punto y la superficie de los mares supuesta en equilibrio y prolongada bajo los continentes (*).

A los puntos situados *exteriormente* a esta superficie se le atribuye *cota positiva* y a los situados *interiormente, cota negativa* o *depresión*. Las altitudes se expresan en metros.

NOTACIÓN. — La altitud se designa con h.

6. **Vertical de un lugar terrestre, cenit, nadir.** — DEFINICIONES. — Se llama *vertical* de un punto de la superficie terrestre a la recta que pasa por ese punto y es paralela al segmento materializado por el hilo de una plomada en equilibrio en ese punto. El punto en que la vertical ascendente corta a la esfera celeste se llama *cenit* y el de intersección de esa esfera con la vertical descendente se llama *nadir*.

Si se supone a la Tierra esférica y homogénea la vertical de un lugar sería la recta que contiene al radio que pasa por ese punto.

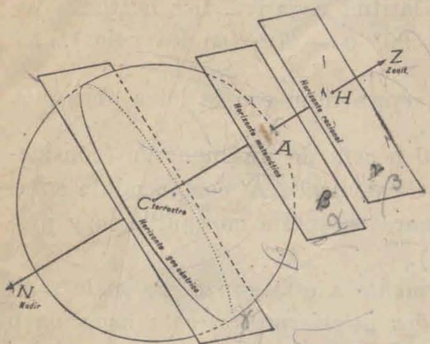
7. **Planos verticales.** — DEFINICIÓN. — Se llaman *planos verticales* a todos los planos que contienen a la vertical de un lugar. Las intersecciones de esos planos con la esfera celeste son círculos que quedan divididos por la vertical en dos semicírculos.

(*) A la figura cuya forma se toma, convencionalmente, como la forma real de la Tierra se llama *Geoide*, y es la que toma la superficie de los mares supuestos prolongados bajo los continentes.

El vertical del astro

El semicírculo que contiene a un astro se llama *plano vertical del astro.*

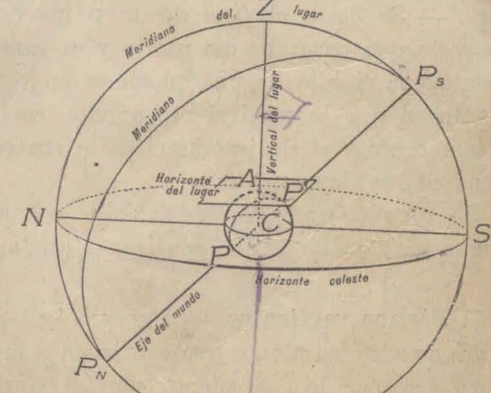
8. **Horizontes.** — Definición I. — Se llama *horizonte matemático* de un punto de la superficie terrestre al plano perpendicular a la vertical del mismo en ese punto.



Si se supone esférica a la Tierra, el horizonte matemático de un punto de ella sería el plano tangente en ese punto.

Definición II. — Se llama *horizonte racional* de un punto de la Tierra, al plano β perpendicular a la vertical del mismo que pasa por los ojos de un observador situado en ese lugar.

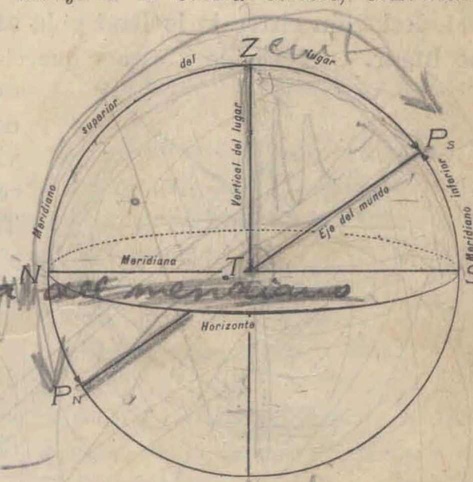
Definición III. — Se llama *horizonte geocéntrico* de un punto de la Tierra, al plano γ perpendicular a la vertical del mismo, que pasa por el centro de la Tierra.



Observaciones. — Los horizontes que acabamos de definir son, para un mismo lugar, paralelos por ser perpendiculares a la misma recta, luego como al considerar la esfera celeste la Tierra se reduce a un punto, esos tres horizontes coinciden.

En la figura adjunta se ha dado a la Tierra C un radio desproporcionado respecto del de la Esfera celeste, con el objeto de hacer ver que el *horizonte,* la *vertical*, y el *meridiano* de un lugar A de la Tierra, pertenecen a sus correspondientes de la esfera celeste.

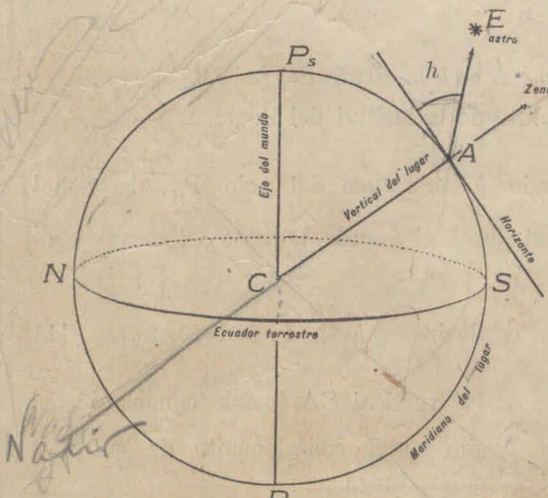
En adelante cuando se dibuje a la esfera celeste, convendremos en representar a la Tierra por el centro de la esfera y al horizonte de un lugar por un plano horizontal respecto del lector.



9. **El meridiano y la meridiana.** ~~DEFINICIÓN~~. — Se llama *meridiano* de un punto de la superficie terrestre al plano determinado por la vertical de ese punto con el eje del mundo.

La intersección de ese plano con el horizonte se llama la *meridiana* o línea Norte-Sud.

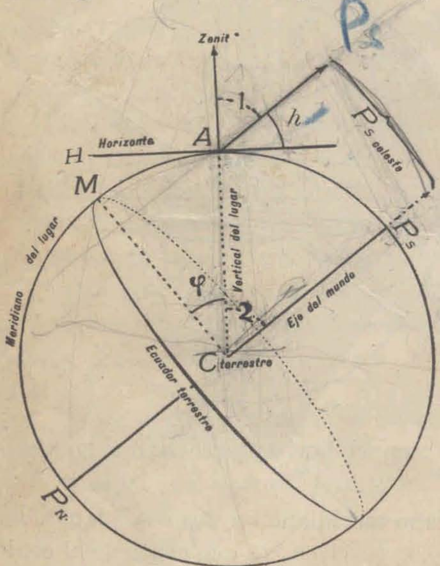
El eje del mundo divide al plano meridiano en dos semiplanos. El que contiene al cenit se llama *meridiano superior* y el que no lo contiene *meridiano inferior del lugar.* (contiene el Nadir)



10. **Altura de un astro.**— DEFINICIÓN. — Se llama *altura de un astro* sobre el horizonte al ángulo formado por la visual dirigida a ese astro con el plano del horizonte.

EJEMPLO. — El ángulo h es la altura del astro E sobre el horizonte del lugar A.

11. Relación entre la latitud y la altura del polo en el mismo lugar. — Teniendo presente que el radio de la esfera celeste es muy grande respecto del de la Tierra, resulta que la visual dirigida a un polo celeste desde un punto de la Tierra resultará paralela al eje de la Tierra que es una parte del eje del mundo.



En la figura la visual $\overrightarrow{AP_S}$ dirigida desde A al polo celeste P_S es paralela al eje del mundo P_SP_N.

TEOREMA. — *La altura del polo en un lugar de la Tierra es en valor absoluto, igual a la latitud terrestre del mismo.*

En símbolos: Si en el lugar A es h la altura del polo P_S y φ el valor absoluto de la latitud del lugar A $\Big\}$ es $h = \varphi$

DEMOSTRACIÓN. — Siendo h la altura del polo P_S, la visual AP_S forma con la vertical de A el ángulo $\widehat{1}$ que es el complemento de h, pues

$$CA \perp AH, \qquad \text{es decir,} \qquad \widehat{h} + \widehat{1} = 1 \text{ Recto} \qquad [1]$$

Siendo φ la latitud de A, la vertical CA forma con el eje del mundo P_SP_N el ángulo $\widehat{2}$ que es el complemento de φ, pues $P_SP_N \perp MC$ por serlo al Ecuador, luego

$$\hat{\varphi} + \hat{2} = 1 \text{ Recto} \quad (2) \qquad [2]$$

Pero $\hat{1} = \hat{2}$ por correspondientes entre $AP_S \parallel P_SP_N$ y secante AC por lo tanto de [1] y [2] resulta

$$h = \varphi \quad \text{por tener complementos iguales.}$$

Observación. — Esta propiedad nos muestra que si se conoce la posición del polo visible en un lugar A, se halla la latitud de ese lugar midiendo, con un aparato apropiado, el ángulo que forma la visual dirigida al mismo con el horizonte.

Recordemos que en nuestro hemisferio el polo se encuentra, aproximadamente, en el extremo del segmento que se obtiene prolongando tres veces y media el brazo mayor de la Cruz del Sud, de la cabeza hacia el pie.

El valor aproximado de la latitud de la Ciudad de Buenos Aires es $\varphi = -34°36'$. Este es un valor medio, pues dada la gran extensión de esta ciudad, ella varía de un punto a otro. Así por ejemplo la latitud determinada en la Dársena Norte es $\varphi = -34°35'38''$, y en la Aduana Vieja es $\varphi = -34°36'30''$. (Ver *Trigonometría esférica y Coordenadas Astronómicas* del Ing. D. Manuel Ordóñez).

9/9/38

12/9/38

15/6/39

10/12/42

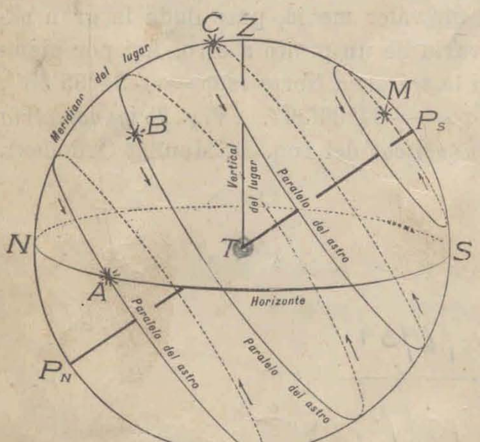
30.V-44

CAPITULO II

MOVIMIENTO APARENTE DE LA ESFERA CELESTE

PROGRAMA. — *Movimiento aparente de la esfera celeste; uniformidad de este movimiento. El día sideral. Aspecto del cielo en la latitud de Buenos Aires; esfera oblícua. Estrellas circumpolares. Pasos por el meridiano, arco diurno y nocturno. Esfera recta y esfera paralela.*

13. Movimiento aparente de la esfera celeste: uniformidad de este movimiento. — El movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje, trae como consecuencia, según dijimos, el *movimiento aparente* de la esfera celeste.



Si con la ayuda de instrumentos apropiados, que estudiaremos más adelante, seguimos el movimiento de varias estrellas cualesquiera, llegamos a la conclusión de que todas ellas describen en el mismo tiempo, circunferencias cuyos centros pertenecen al eje del mundo, y que se mueven con velocidad angular constante.

Como las estrellas son puntos fijos de la esfera celeste resulta que:

La esfera celeste está animada respecto de la Tierra de un movimiento aparente circular uniforme alrededor de su eje en sentido E, N, O llamado sentido retrógrado.

14. El día sideral. — Siendo uniforme el movimiento aparente de la esfera celeste, se puede utilizar esa circunstancia para medir *intervalos de tiempo,* puesto que por la ley de ese movimiento ángulos iguales son descriptos en tiempos iguales.

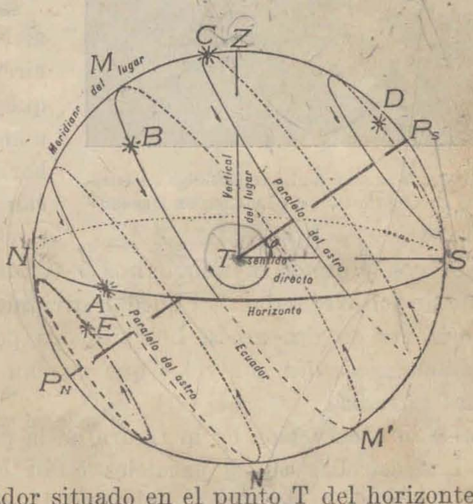
Se toma como unidad para medir intervalos de tiempo, el transcurrido para que la esfera celeste dé una vuelta completa alrededor de su eje, o lo que es lo mismo para que una estrella pase dos veces consecutivas por el meridiano superior de un lugar.

DEFINICIÓN. — Se llama *día sideral* al intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos de una misma estrella (*) por el meridiano superior de un lugar.

El día sideral se divide en 24 partes iguales llamadas *horas siderales* y cada una éstas en 60 *minutos siderales* y cada uno de esos minutos en 60 *segundos siderales.*

15. Aspecto del cielo en la latitud de Buenos Aires. — Habíamos visto que la latitud media de Buenos Aires (nº 1[illegible]) era

$\varphi = -34°35'$



Luego si representamos los planos y ejes fundamentales para ese punto tendríamos que ZNS es el meridiano, TZ la vertical, NAS el horizonte, $P_S P_N$ el eje del mundo, dibujado en forma tal que:

$\widehat{P_S T S} = \varphi = -34°35'$,

MM' es el Ecuador.

Supongamos a un observador situado en el punto T del horizonte. Si éste dirige su vista hacia el Este (cara al E.) cuando comienza

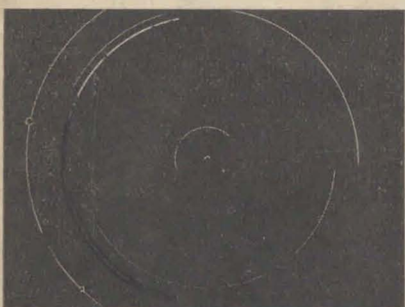
(*) Veremos más adelante que en lugar de tomar una estrella o sea un punto real de la esfera celeste, se puede. y es conveniente, tomar un punto geométrico de la misma, el punto Vernal o punto γ, que pertenece al Ecuador.

a anochecer, observará estrellas que van apareciendo por esa parte del horizonte, aumentando de altura hasta llegar al meridiano, y si se vuelve hacia el Oeste las ve disminuir de altura hasta que desaparecen debajo del horizonte.

ESTRELLAS CIRCUMPOLARES. — Si el observador dirige su mirada hacia el Sud (cara al Sud) ve ciertas estrellas que describen toda su órbita por encima del horizonte, es decir, que no tiene salida ni puesta. Dichas estrellas se llaman *circumpolares*.

Para nuestra latitud son estrellas circumpolares visibles sin ayuda de instrumentos las de la Cruz del Sud.

Puede observar también que esas estrellas alcanzan su mayor y su menor altura en el meridiano. En el primer caso se dice que el astro está en su *culminación superior* y en el segundo en su *culminación inferior*.



Fotografía mostrando las trayectorias de estrellas circumpolares, de « LE CIEL DE BERGET »

Si el observador se sitúa cara al Norte, no encuentra estrellas circumpolares y puede notar que todas las que observa permanecen menos tiempo sobre el horizonte a medida que se acercan hacia el Norte.

ARCOS DIURNOS Y NOCTURNOS. — Los paralelos de las estrellas que no son circumpolares quedan divididos por la intersección con el horizonte en dos arcos. Los situados por encima del horizonte se llaman *arcos diurnos* y los que quedan debajo *arcos nocturnos* de esas estrellas.

De la observación de la figura de la página anterior resulta que:

Las estrellas cuyos paralelos están comprendidos entre el que pasa por el punto S y el polo Sud P_S son *circumpolares,* mientras que las comprendidas entre el que pasa por el punto N y el polo Norte P_N son *invisibles.* Las estrellas restantes tienen *salida* y *puesta* y permanecen sobre el horizonte menos tiempo que debajo de él a medida que su paralelo se aleja del polo, excepto las que recorren el Ecuador, pues en ese caso son iguales los tiempos mencionados.

16. **Esfera oblícua.** — Todos los observadores de lugares cuya latitud (en valor absoluto) esté comprendida entre 0° y 90° o sea los situados entre el Ecuador y los polos, podrán hacer observaciones análogas a las que se acaban de referir, es decir:

1º *Que las órbitas aparentes de las estrellas pertenecen a planos oblicuos respecto del horizonte.*

2º *Que existen estrellas circumpolares.*

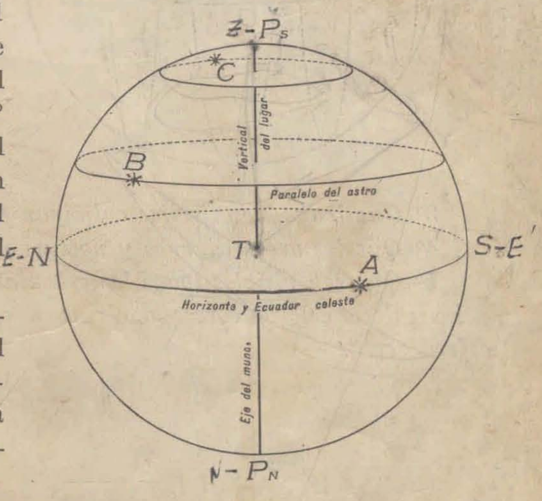
3º *Que existen estrellas invisibles.*

4º *Que todas las estrellas visibles culminan en el meridiano.*

5° *Que los arcos diurnos y nocturnos son desiguales excepto para las estrellas que recorren el Ecuador;*

La esfera celeste correspondiente a estos observadores se llama *esfera oblicua.*

17. **Esfera paralela.** — Teniendo en cuenta que la latitud de un lugar terrestre es igual a la altura del polo sobre el horizonte, y que en el polo la latitud $\varphi = 90°$ resulta que en los polos el eje del mundo coincide con la vertical y por lo tanto el Ecuador coincide con el horizonte.



Luego para todos los observadores situados en el polo, la esfera celeste presentará el aspecto de la figura, es decir, observarán:

1º *Que las órbitas aparentes de las estrellas pertenecen a planos paralelos al horizonte.*

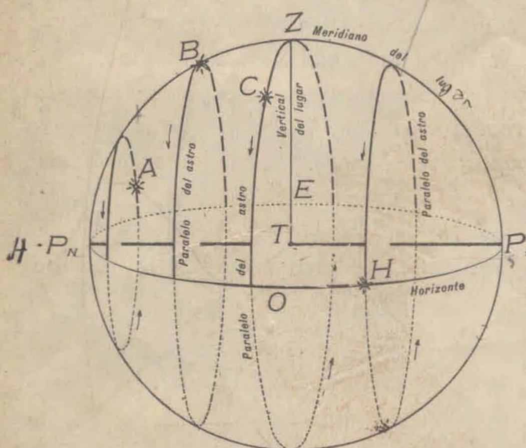
2º *Todas las estrellas visibles son circumpolares.*

3º *Que las estrellas no tienen culminaciones puesto que describen circunferencias de igual altura.*

4º *Que solo son visibles las estrellas pertenecientes al hemisferio del polo considerado;*

La esfera correspondiente a los observadores situados en los polos se llama *esfera paralela.*

18. **Esfera recta.** — Teniendo en cuenta que en el Ecuador la latitud $\varphi = 0$ resulta que el eje del mundo pertenece al plano del horizonte y por lo tanto el Ecuador coincide con el primer vertical (perpendicular al meridiano del lugar).



Luego para todos los observadores situados en el Ecuador la esfera celeste presentará el aspecto de la figura, es decir, observarán:

1º *Que las órbitas aparentes de las estrellas pertenecen a planos perpendiculares al horizonte.*

2º *Que no existen estrellas circumpolares.*

3º *Que todas las estrellas culminan en el meridiano.*

4º *Que los arcos diurnos y nocturnos son iguales.*

5º *Que son visibles todas las estrellas;*

La esfera celeste correspondiente a estos observadores se llama *esfera recta.*

CAPITULO III

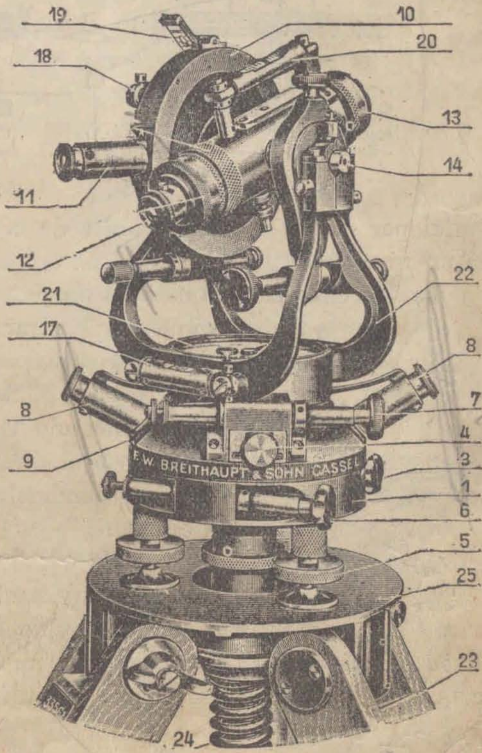
DETERMINACION DEL MERIDIANO Y DEL EJE DEL MUNDO

PROGRAMA. — *El teodolito. El ecuatorial. Altura* h *y distancia cenital* z *de un astro. Determinación de la posición del meridiano. Método de las alturas correspondientes. Método del gnomon. Determinación de la posición del eje del mundo y, con esto, de la latitud terrestre. Distancia cenital del polo.*

20. El teodolito. — Es un instrumento que se emplea para medir los ángulos que la visual dirigida a un objeto forma con la

INDICACIONES

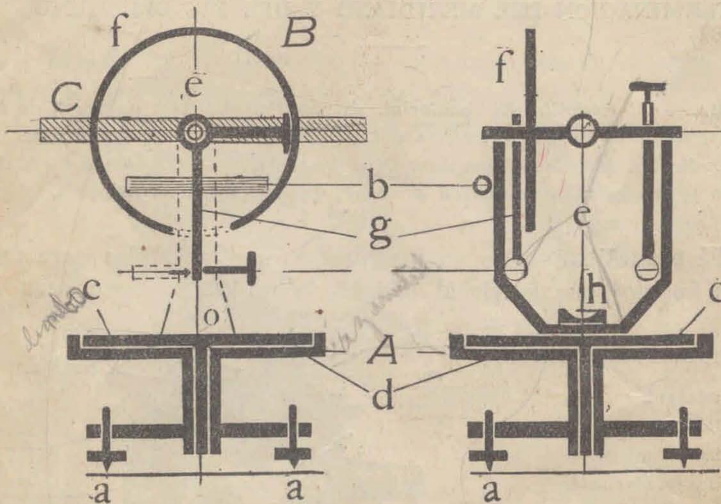
1 Base triangular
3 Tornillo de presión
4 Tornillo de presión
5 Tornillos de nivelación
6 Tornillo de pequeños movimientos del limbo
7 Tornillo de pequeños movimientos de la alidada
8 Lente de aumento
9 Ventanilla
10 Círculo vertical
11 Lente de aumento
12 Ocular
13 Anteojo
14 Eje horizontal
17 Nivel
18 Nivel
19 Espejo giratorio
20 Nivel de reversión
21 Brújula
22 Soporte
23 Pié del trípode
24 Resorte de fijación
25 Plataforma



vertical o con la horizontal y el que la proyección de dicha visual sobre un plano horizontal forma con una semirrecta fija (por ejemplo con la dirección Sud) del mismo.

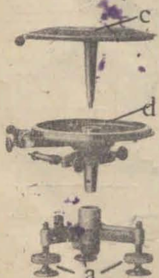
Se compone de las siguientes partes:

a) Un círculo A llamado *azimutal*, que puede ponerse hori-



zontal por medio de tres tornillos de nivelación **a** y con la ayuda de un nivel **b**.

b) Un círculo B situado en un plano perpendicular al del azimutal y que puede girar alrededor del eje del instrumento **e** que es perpendicular al plaño azimutal en el centro **o** del círculo.



c) De un anteojo C cuyo eje se mueve sobre un plano paralelo al del vertical, girando alrededor de un eje **e'** perpendiculár a ese plano en el centro de dicho círculo.

Movimiento y graduación. — El azimutal A está formado por un círculo graduado de 0° a 360°, *el limbo* **c** cubierto casi totalmente por una camisa, *alidada* **d** que es la que lleva el nivel y tiene dos aberturas diamentralmente opuestas en cuyos bordes existen verniers, las lecturas de los cuales se hacen mediante lentes de aumento.

El limbo y la alidada pueden girar unidos o independientemente.

El círculo vertical se compone de un *limbo fijo* **f** graduado de 0° a 360° (el cero corresponde al cenit cuando el instrumento está nivelado), cubierto por una *camisa* **g** que lleva también dos aberturas diametralmente opuestas con nonius y los lentes correspondientes. El anteojo al girar alrededor del eje **e** arrastra a la alidada vertical. Además de este movimiento el anteojo puede girar alrededor del eje del instrumento.

MANEJO DEL TEODOLITO. — Colocado el instrumento en un lugar elegido para la observación, se lo nivela cuidadosamente.

Se hacen coincidir los ceros del limbo y de la alidada del azimutal, y se hace girar el anteojo que arrastra a ambos, hasta que la aguja magnética pavonada de la brújula **h** situada en el centro del limbo marque el punto S.

Con esta operación se consigue que el anteojo esté en la dirección Norte-Sud magnética y que los ángulos azimutales tengan como lado de origen la semirrecta determinada por el punto de observación y el punto Sud magnético (*).

Luego se fija el limbo con el tornillo correspondiente y se deja libre la alidada. Se dirige el anteojo al punto elegido y se inmovilizan las alidadas del círculo azimutal y del vertical.

La lectura que se hace en el círculo azimutal nos da el valor del ángulo que forma la dirección NS magnética con la proyección de la visual sobre el plano horizontal, y la lectura efectuada en el círculo vertical nos da el del ángulo que forma dicha visual con la vertical, con lo cual queda determinada la posición del punto dado.

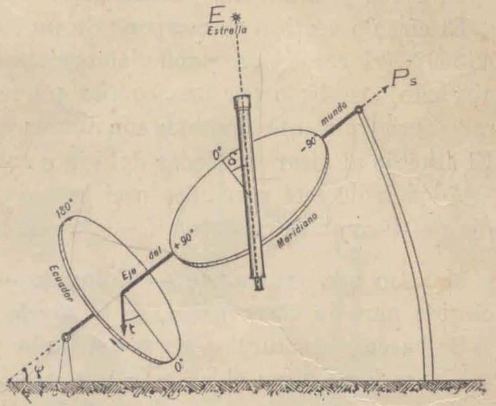
21. **El ecuatorial.** — Es un instrumento que consta de los mismos elementos que el teodolito, pero el círculo correspondiente al azimutal se lo sitúa en un plano paralelo al Ecuador y por lo tanto su eje es paralelo al eje del mundo.

Está además provisto de un mecanismo de relojería que impri-

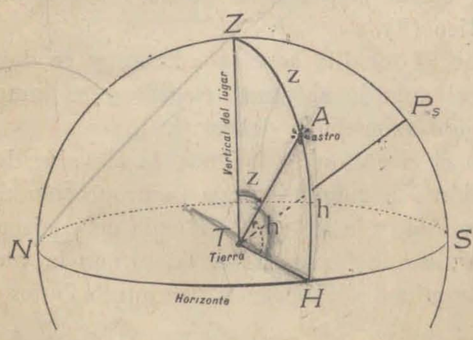
(*) No es imprescindible que el cero de la graduación esté en la dirección N.S. magnética.

me a todo el aparato un movimiento de rotación alrededor de su eje de velocidad igual a la que tiene la esfera celeste, por lo que es posible seguir con el anteojo el movimiento diurno de cualquier estrella visible.

Con esa experiencia se comprueba prácticamente que el movimiento aparente de la esfera celeste, respecto de la Tierra, es circular uniforme como se había indicado anteriormente (nº 13).



22. **Altura y distancia cenital de un astro.** — Definición. — Se llama *altura de un astro* en un lugar determinado, al ángulo formado por la visual dirigida al mismo con el plano del horizonte de ese lugar, y distancia *cenital* del mismo al ángulo que forma dicha visual con la vertical del lugar.



Notación. h representa la altura y z la distancia cenital de un astro.

Corolario. — *La altura y la distancia cenital de un mismo astro en un mismo lugar son ángulos complementarios.*

En símbolos: $h + z = 90°$ o sea $h = 90° - z$ y $z = 90° - h$.

23. **Determinación de la posición del meridiano.**— Método de las alturas correspondientes.. — Las *alturas iguales* que una misma estrella alcanza antes y después de su paso por el meridiano de un mismo lugar, se llaman *alturas correspondientes*.

Propiedad del plano meridiano. — *El meridiano de un lugar es bisector de los diedros cuyas caras son los verticales de una misma estrella cuando alcanza alturas correspondientes.*

La propiedad del plano meridiano que acabamos de citar, se utiliza para la determinación del mismo, en la forma siguiente:

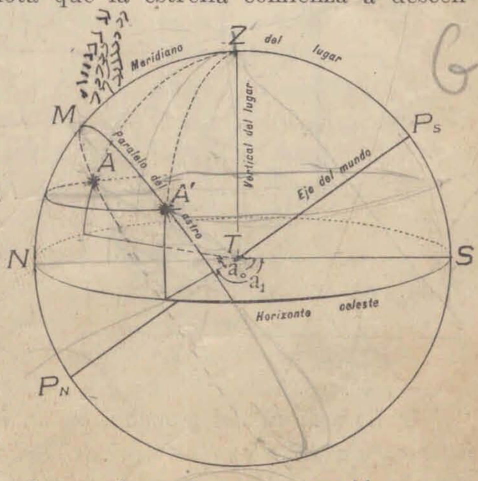
Se busca una estrella conocida, de la cual se sabe por observaciones hechas en días anteriores y a simple vista, que culmina a una hora apropiada para la observación, las 22 h por ejemplo.

Se instala un teodolito y se lo prepara para la observación poniendo el cero del limbo en la dirección TS de una mira. 10 minutos) según si está apurado o no.

Unas dos horas antes de la culminación se busca con el anteojo por el Oriente a la estrella elegida. Cuando ésta está dentro del campo del anteojo se fijan las alidadas y con los tornillos de pequeños movimientos se busca la coincidencia de la estrella con el cruce de los hilos del retículo.

Obtenido esto se efectúa la lectura en el círculo azimutal y se anota el resultado que llamamos a_0 y luego se deja libre la alidada azimutal dejando fijo el anteojo.

Después de las 22 h se nota que la estrella comienza a descender, y momentos antes de las 24 h, se dirige el anteojo hacia el punto donde se ve la estrella y se constata que ésta está en el campo.



Se fija nuevamente la alidada y con el tornillo de pequeños movimientos de la misma se trata de que la estrella coincida nuevamente con el centro del retículo, en cuyo instante se obtiene la altura correspondiente a la observada en la primera operación.

Se efectúa la segunda lectura en el círculo azimutal y se anota el resultado que llamamos a_1.

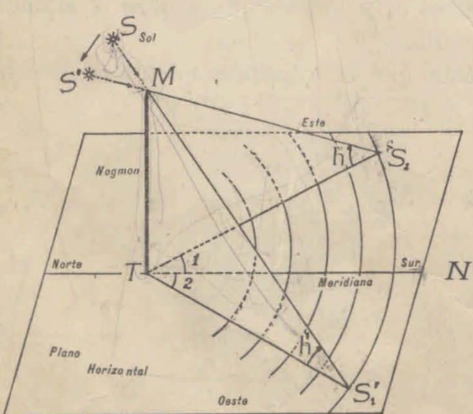
Si colocamos el anteojo en forma tal que en la alidada se lea una graduación igual a $\frac{a_0 + a_1}{2}$ el eje de dicho anteojo está en el plano del meridiano del lugar.

Si bien el fundamento de este método es muy sencillo, en la práctica no se le utiliza por existir otros más adecuados por su mayor rapidez y precisión.

24. **Método del gnomon.** — El método de las alturas correspondientes se aplica también en otro procedimiento llamado *método del gnomon,* pero en lugar de emplear el teodolito se hace uso de una varilla recta (*gnomon*) y en lugar de una estrella se utiliza el Sol.

Se coloca el gnomon verticalmente sobre un plano horizontal, y con centro en su pie se trazan en ese plano varias circunferencias.

La sombra del gnomon se proyecta sobre el plano horizontal hacia el Oeste antes de la culminación del Sol y va disminuyendo a medida que el Sol aumenta de altura hasta el instante del paso por el meridiano que se trata de determinar, a partir del cual la sombra se proyectará hacia el Este y su longitud irá aumentando a medida que la altura del Sol disminuye.



Conviene tener presente que:

1º *La sombra del gnomon, en un instante dado, pertenece a la intersección del plano vertical del Sol en dicho instante con el horizonte, puesto que el gnomon es vertical;*

2º *Sombras iguales son proyectadas por el Sol cuando alcanza alturas correspondientes.*

En efecto: los ángulos h y h' son iguales por pertenecer a los triángulos rectángulos MTS_1 y MTS'_1 que son iguales por tener sus catetos respectivamente iguales.

3º *Que los ángulos formados por los pares de sombras iguales son las secciones normales de los diedros formados por los verticales correspondientes.*

En efecto: El plano horizontal es perpendicular a la arista común de esos diedros que es vertical.

4º) *La bisectriz común a todos esos ángulos determina con el gnomon el plano meridiano.*

En efecto: dicho plano meridiano es bisector de los diedros formados por los verticales del Sol en alturas correspondientes.

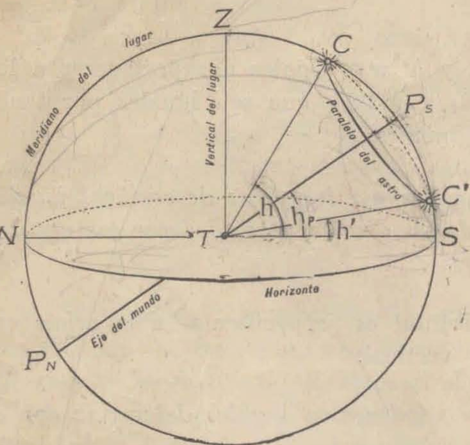
X PROCEDIMIENTO. — Teniendo presente que el Sol culmina más o menos a medio día, una hora antes, por ejemplo a las 11 h, se observa la sombra del gnomon y cuando la extremidad de ésta cae sobre una de las circunferencias trazadas se marca el punto S_1 y se lo une con T.

Poco antes de las 13 h se vuelve a observar la sombra del gnomon y cuando la extremidad de la misma cae sobre la circunferencia que pasaba por S_1 se marca esta segunda posición S_1' y se traza TS_1'.

Se construye la bisectriz TN del ángulo S_1TS_1', con lo que se obtiene la traza del meridiano sobre el horizonte (*meridiana*).

Este método que es uno de los más antiguos usados para la determinación del meridiano, es muy poco preciso, dada la naturaleza del instrumento empleado y porque el movimiento del Sol, como veremos más adelante, es distinto que el de las estrellas.

25. Determinación de la posición del eje del mundo. — Propiedad del eje del mundo. — *El eje del mundo es bisectriz de los ángulos cuyos lados son las visuales dirigidas a una misma estrella circumpolar en sus dos culminaciones.*



En efecto: Si P_SP_N es el eje del mundo y CC' el paralelo de una estrella circumpolar visible cuyas culminaciones son C y C', y $\overrightarrow{TC}$ y $\overrightarrow{TC'}$ las visuales dirigidas a dichas posiciones de la estrella se tiene:

$P_SP_N \perp CC'$ por ser $P_SP_N \perp$ plano del paralelo

y como $\overset{\triangle}{CTC'}$ es isósceles por ser $\overline{TC} = \overline{TC'} =$ radio

resulta TP_S bisectriz del ángulo CTC'

o sea P_SP_N bisectriz del ángulo CTC'

Observación. — Llamando h a la altura de la estrella en su culminación superior, h' la de la inferior, y h_P la altura del polo sobre el horizonte se tiene que:

$$h_P = h' + \frac{h - h'}{2} = \frac{2\,h' + h - h'}{2}$$

luego $$h_P = \frac{h + h'}{2}$$ lo que nos dice que:

La altura del polo sobre el horizonte es igual a la semisuma de las alturas de una misma estrella circumpolar en sus dos culminaciones.

La observación que acabamos de hacer se podría utilizar para la determinación del eje del mundo, pues midiendo, con la ayuda de un teodolito, las alturas h y h' de una estrella circumpolar conocida en sus dos culminaciones se obtiene la altura h_P del polo mediante la fórmula deducida.

En la práctica no se procede así porque las dos culminaciones se verifican con doce horas de intervalo.

26. **Determinación de la latitud terrestre.** — Con el problema anterior queda también resuelto el de la determinación de la latitud terrestre puesto que ésta es igual, según hemos visto (nº 11), a la altura del polo sobre el horizonte.

En nuestro hemisferio no existe ninguna estrella visible a simple vista que coincida con el Polo Sud. La estrella más próxima al mismo es σ *Octantis* que dista del polo menos de un grado. Es una estrella de magnitud 5,5 que puede ser observada con el teodolito y utilizada por lo tanto para determinar con una sola observación y a cualquiera hora, el meridiano y la latitud de un lugar.

Se encuentra aproximadamente, el polo Sud, prolongando tres veces y media el brazo mayor de la *Cruz del Sur* a partir de su pie (nº 11) o en el punto medio del segmento determinado por β del *Centauro y Achernar*.

En el hemisferio Norte la estrella α de la *Osa Menor* que es de 2,12 magnitud dista poco más de un grado del Polo Norte y es visible a simple vista.

27. **Distancia cenital del polo.** — Como existen teodolitos en cuyos círculos verticales pueden leerse directamente las distancias cenitales de una estrella, en lugar de sus alturas, puede determinarse con ellos, siguiendo un camino idéntico al señalado en el número anterior, la posición del polo, hallando su distancia cenital z_P por la fórmula

$$z_P = \frac{z + z'}{2}$$

El teodolito que hemos descripto es de este tipo.

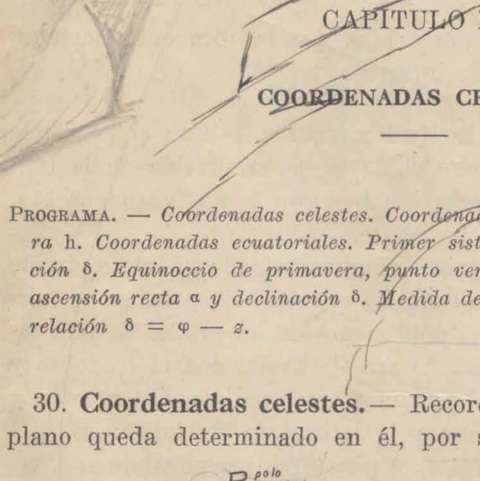
Este ángulo que es el complemento de la latitud se llama *colatitud* del lugar.

CAPÍTULO IV

COORDENADAS CELESTES

PROGRAMA. — *Coordenadas celestes. Coordenadas horizontales, azimut* a *y altura* h. *Coordenadas ecuatoriales. Primer sistema, ángulo horario* t *y declinación* δ. *Equinoccio de primavera, punto vernal. Segundo sistema ecuatorial, ascensión recta* α *y declinación* δ. *Medida de la declinación de una estrella, la relación* $\delta = \varphi - z$.

30. **Coordenadas celestes.** — Recordemos que un punto de un plano queda determinado en él, por sus coordenadas cartesianas que son un par de números (*Arit.* III, nº 95).



Análogamente, un punto de la esfera celeste queda también determinado por dos coordenadas que son arcos de círculos máximos o sus ángulos centrales correspondientes, convenientemente elegidos.

En efecto: tomemos un círculo máximo de dicha esfera, un punto del mismo como origen de los arcos y un sentido como positivo, y el diámetro perpendicular al plano de ese círculo. El plano del círculo se llama *plano fundamental,* el diámetro perpendicular se llama *eje principal* y sus extremos *polos.*

Todo punto de la esfera, que no sean los *polos,* determina con el eje principal un semicírculo que corta al círculo principal en un punto que llamaremos *pie* del mismo y que se toma como origen para medir sus arcos.

El arco AB determinado por el origen A del círculo principal y el pie B del semicírculo que pasa por el punto dado C y los polos, y el arco BC determinado por el pie B del semicírculo citado y el punto dado, son lo que se llaman las *coordenadas celestes* del punto C.

31. **Signos de las coordenadas.** — Como al decir arco AB no se sabe a cuál de los dos arcos que tienen a esos puntos por extremos nos referimos, se debe indicar en qué sentido se cuentan dichos arcos y para distinguir esos sentidos se le atribuye, a uno el signo más y al contrario el signo menos.

El signo más o menos de la segunda coordenada se establece convencionalmente de acuerdo con el hemisferio, respecto del círculo principal, al cual pertenece el punto dado.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente resulta:

Que a todo punto de la esfera celeste le corresponden un par de arcos, sus coordenadas.

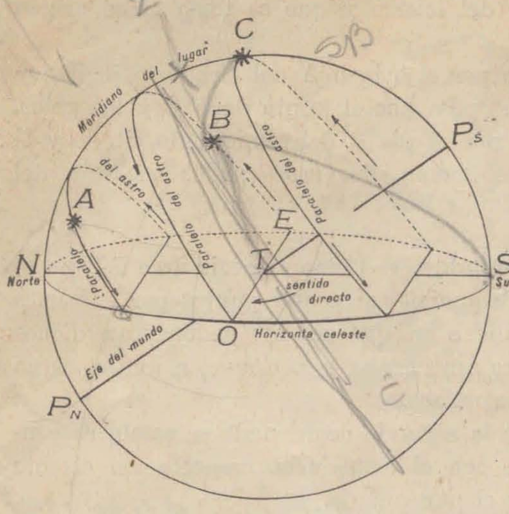
Recíprocamente: *Dados en un cierto orden un par de arcos le corresponden sobre la esfera celeste un solo punto, que tiene a dichos arcos por coordenadas.*

En efecto: Tomando sobre el círculo principal, y en el sentido conveniente de acuerdo con su signo, la primera coordenada, queda determinado el pie B del semicírculo que pasa por el punto dado. Luego si sobre ese semicírculo se toma la segunda coordenada, también de acuerdo a su signo, queda determinado el punto.

32. **Sentido directo y retrogrado.** — Un móvil puede recorrer el círculo principal, en dos sentidos, contrarios uno del otro, y que se los distingue llamando a uno *directo* y al opuesto *retrógrado,* de acuerdo con la siguiente:

Convención. — Tomaremos como *sentido directo* de los arcos del círculo fundamental, al sentido del movimiento de las agujas de un reloj colocado en su plano, mirando hacia el polo de dicho plano.

Corolario. — *El sentido del movimiento de rotación aparente de la esfera celeste, es decir, el del movimiento diurno es retrógrado.*



En efecto: Todo observador del hemisferio Sud ve salir los astros por el E subir hacia el N y ponerse por el O, es decir, que se mueven en sentido contrario al de las agujas de un reloj situado en uno cualquiera de los paralelos de dichos astros mirando hacia el polo sur.

Vamos a estudiar ahora los distintos sistemas de coordenadas que se emplean en la práctica.

33. **Coordenadas horizontales.** — Los elementos característicos de este sistema son:

Plano fundamental: *el plano del horizonte,* tomando como *origen* para medir sus arcos al punto cardinal S.

Eje principal: *la vertical del lugar,* con su *polo principal* el cenit.

Con estos elementos pueden definirse las *coordenadas horizontales* de un astro cualquiera A en la siguiente forma:

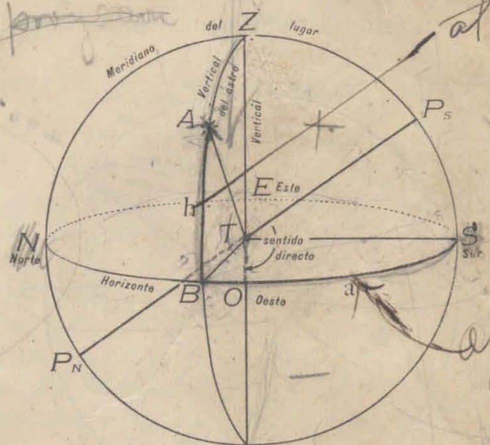
Definición I. — Se llama *azimut* de un astro A al arco de horizonte SB comprendido entre el punto Sud y el pie del vertical de dicho astro, medido de 0° a 360° en sentido directo, es decir, de S a N pasando por el O.

(*) Para todos los observadores del hemisferio norte el sentido que para nosotros es *directo* es para ellos *retrogrado*, puesto que el polo correspondiente a esos observadores. es el antipoda del correspondiente al nuestro y reciprocamente.

Definición II. — Se llama *altura* de un astro A al arco AB de su vertical comprendido entre el astro y su ~~pie~~ sobre el horizonte, medido de 0° a + 90° o a — 90°, a partir del horizonte, según que el astro esté arriba o debajo del horizonte, respectivamente.

El complemento ZA de la altura de un astro A se llama *distancia cenital* del mismo.

Notaciones. — Con a se designa el azimut, con h la altura de un astro y con z la distancia cenital.



Coordenadas Horizontales del astro A.

Azimut de A = $\overset{\frown}{SB}$ en sentido directo de 0° a 360°

Altura de A = $\overset{\frown}{BA}$ de 0° a ± 90°

Observación. — Como el horizonte y el vertical son círculos máximos los arcos $\overset{\frown}{SB}$ y $\overset{\frown}{AB}$ tienen la misma medida (*Geom.* II, nº 146) que sus ángulos centrales correspondientes STB y ATB.

El sistema de coordenadas horizontales se dice que es un *sistema local,* pues el plano fundamental y el eje principal son distintos para cada punto de la Tierra.

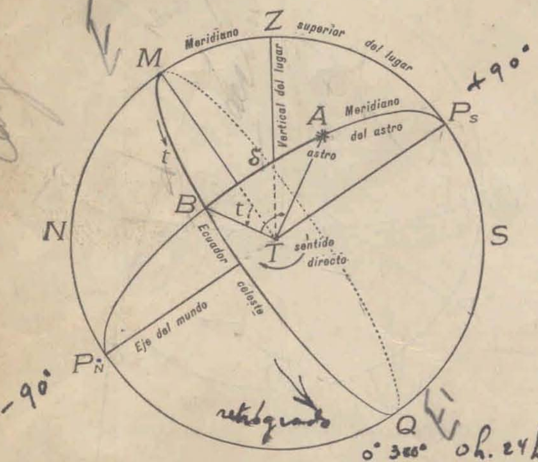
Las coordenadas horizontales se miden directamente con el teodolito, como se ha visto al resolver los problemas de la determinación del meridiano y del eje del mundo en un lugar determinado.

34. **Coordenadas ecuatoriales horarias.** — Los elementos característicos de este sistema son:

Plano fundamental: *el círculo ecuatorial,* tomando como origen para medir sus arcos el pie del meridiano superior del lugar (*mediocielo*).

Eje principal: *línea de los polos* con su *polo principal* el Polo Sud.

Con estos elementos pueden definirse las *coordenadas ecuatoriales horarias* de un astro cualquiera A en la siguiente forma:



Coordenadas Ecuatoriales Horarias del astro A

Angulo horario = $\widehat{MB}$ en sentido retrogrado de 0° a 360° o de 0 h a 24 h.

Declinación = $\widehat{AB}$ de 0° a ± 90°

Definición I. — Se llama *ángulo horario* de un astro A al arco de Ecuador MB comprendido entre el mediocielo M y el pie del meridiano de dicho astro, medido de 0° a 360° o de 0 h a 24 h en sentido retrógrado.

Definición II.— Se llama *declinación* de un astro A al arco de su meridiano AB comprendido entre el astro y su pié sobre el Ecuador, medido de 0° a + 90° o a — 90° a partir del Ecuador, según que el astro esté situado en el hemisferio Norte o Sud, respectivamente.

Notación. — Con t se designa el ángulo horario y con δ la declinación de un astro.

Consecuencia I. — Como el ángulo horario de un astro se mide en el sentido de su movimiento aparente, y éste es uniforme, resulta que: dicho *ángulo horario aumenta de cantidades iguales en tiempos iguales,* vale decir, *es proporcional al tiempo.*

Teniendo en cuenta que el pie del meridiano de una estrella cualquiera, que es el que se utiliza para medir el ángulo horario, tarda 24 horas siderales (nº 14) en dar la vuelta completa sobre el Ecuador, cuya circunferencia vale 360°, llamando θ al tiem-

" Que es el hombre en la universidad ..?
puerto nuevo.

po sidereo empleado en describir el ángulo horario t, se tiene, por la proporcionalidad anteriormente señalada, que como todo astro:

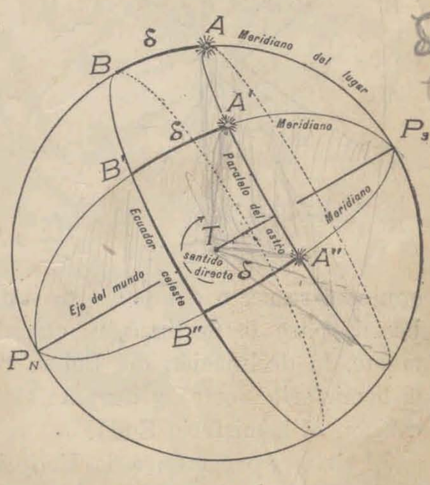
En 24 h siderales recorre un arco de 360°

en 1 h recorre un arco de $\frac{360^\circ}{24} = 15^\circ$ lo *que nos dice que el ángulo horario de un astro aumenta a razón de* 15° *por hora sideral.*

En la práctica se utiliza esta equivalencia para expresar los ángulos horarios en unidades de tiempo.

Así, por ejemplo, un ángulo horario $t = 120^\circ 30' 45''$
se puede expresar también así $t = 8\text{ h } 2\text{ min } 3\text{ seg.}$

Consecuencia II. — Como las estrellas se mueven sobre planos paralelos al Ecuador, las visuales dirigidas a una misma estrella son generatrices de una superficie cónica circular que tiene por eje al eje del mundo, luego el ángulo que ellas forman con dicho eje es constante. Por lo tanto los ángulos que esas visuales forman con el plano del Ecuador son también iguales, por ser complementos de los anteriores, así como también sus arcos correspondientes que son las declinaciones de la estrella. En consecuencia: *La declinación de una estrella es constante* (*).



δ: declina...
t = áng. hora...

Nota. — La declinación del Sol no es constante, pues tiene una pequeña variación diaria, no obstante se puede suponer que dicho astro recorre sensiblemente un paralelo en cada día.

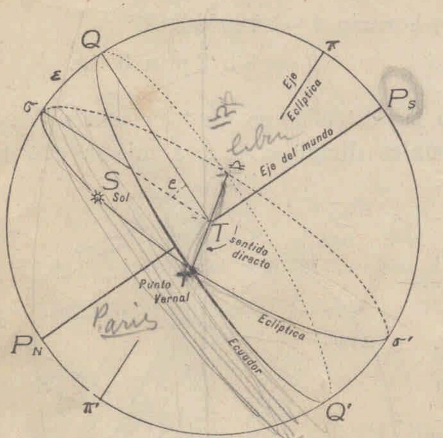
El sistema de coordenadas ecuatoriales horarias se dice que es un

(*) La declinación de una estrella sufre en rigor. pequeñísimas variaciones pero por ahora podemos considerarla como constante.

sistema semilocal, pues el origen de los ángulos horarios es distinto para cada lugar.

Las coordenadas ecuatoriales horarias pueden medirse directamente con el ecuatorial, y comprobar así la uniformidad del movimiento diurno y la constancia de la declinación de las estrellas.

35. **Equinoccio de primavera.** — Si en un lugar cualquiera de la Tierra medimos diariamente y durante un año el ángulo horario del Sol en cierto instante y la declinación del mismo, y representamos sobre una esfera los puntos determinados por esos pares de coordenadas, podremos observar que todos pertenecen al plano de un círculo máximo, llamado *eclíptica,* que forma con el plano del Ecuador un ángulo diedro de 23°27′. Este valor se llama *oblicuidad de la eclíptica.*



Como el plano del Ecuador divide al de la Eclíptica en dos semiplanos situados en semiespacios opuestos respecto del primero, resulta por la convención de signos hechas para la declinación, que durante medio año, aproximadamente, la declinación del Sol es positiva (es decir el Sol está en el hemisferio Norte) y durante el resto del año es negativa (el Sol está en el hemisferio Sud).

El diámetro común a la Eclíptica y al Ecuador se llama *línea de los Equinoccios.*

El extremo de ese diámetro por el que pasa el Sol del hemisferio Sud al Norte se llama *punto Aries, punto Vernal* o *punto* γ, y con esa letra γ se lo designa siempre. En nuestro hemisferio se llama también *Equinoccio de Otoño.*

El otro extremo de ese diámetro se llama *Equinoccio de Primavera* o *punto Libra* (≏).

Qui va col zoppo impara a zoppicare. Quete recontra.

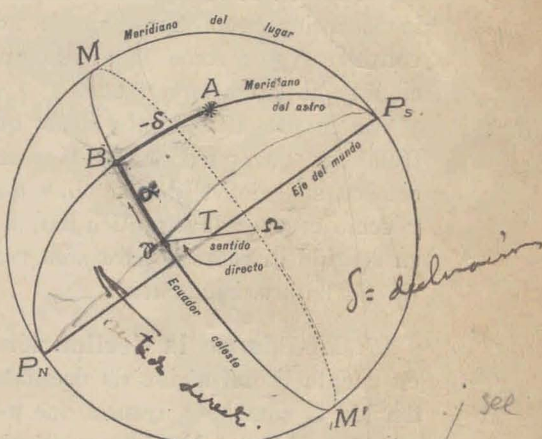
36. Segundo sistema de coordenadas ecuatoriales. Coordenadas ecuatoriales absolutas. — Los elementos característicos de este sistema son:

Plano fundamental: *el círculo ecuatorial* tomando como *origen* para medir sus arcos al *Equinoccio de Otoño* o *punto* γ.

Eje principal: *línea de los polos* con su *polo principal* el polo Sud.

Con estos elementos pueden definirse las *coordenadas ecuatoriales absolutas* de un astro cualquiera A en la siguiente forma:

Definición I. — Se llama *ascensión recta* de un astro A al arco de Ecuador γB comprendido entre el punto Vernal γ y el pie del meridiano de dicho astro, medido de 0° a 360° o de 0 h a 24 h en sentido directo.



Coordenadas ecuatoriales absolutas del astro A

Ascensión recta = $\overset{\frown}{\gamma B}$ en sentido ~~retrógrado~~ directo de 0° a 360°

Declinación = $\overset{\frown}{AB}$ de 0° a ± 90°.

Definición II. — Se llama *declinación* de un astro A al arco de su meridiano comprendido entre el astro y su pie sobre el Ecuador medido de 0° a + 90° o a — 90° a partir del Ecuador según que el astro esté situado en el hemisferio Norte o Sud respectivamente.

Notación. — Con α se designa la ascensión recta y con δ la declinación de un astro.

1º) Consecuencias. — Los dos sistemas de coordenadas ecuatoriales tienen una coordenada común: *la declinación*.

2º) Este sistema de coordenadas ecuatoriales se dice que es un *sistema absoluto* puesto que la ascensión recta y la declinación de un astro son para un instante dado constantes e independientes del lugar de observación. Por esta razón hay tablas donde se registran los valores de esas coordenadas para todos los astros, y que sirven para cualquier observador.

Como el punto Vernal está animado de un pequeño movimiento en sentido retrógrado, como veremos oportunamente, resulta que la ascensión recta de las estrellas sufre un pequeño aumento anual, que también se registra en esas tablas. Esto nos dice que, en rigor, la ascensión recta de un astro no es constante, pero nosotros la consideraremos como tal, dado que son muy pequeñas las variaciones que sufre en un año.

En cuanto al Sol cabe decir que se mueve, respecto de las estrellas, lo que puede notarse observando que el Sol se pone junto con constelaciones de estrellas que van variando con el tiempo, y como recorre la eclíptica dando una vuelta completa en un año, en sentido directo, *su ascensión recta aumenta diariamente un grado* (1°) *aproximadamente.*

37. **Medida de la declinación de una estrella.** — Teniendo en cuenta la definición de declinación y el hecho de que esta coordenada es constante, resulta que puede hallarse su valor sobre cualquier meridiano del astro, utilizando el Ecuatorial.

Sin embargo en la práctica dicha determinación se efectúa en el meridiano del lugar de observación, en el instante del paso de la estrella por el meridiano superior, utilizando un instrumento, llamado *círculo meridiano,* porque su anteojo se mueve en dicho plano.

Esto puede hacerse porque existe una relación sencilla que liga la latitud $\boldsymbol{\varphi}$ del lugar, la declinación $\boldsymbol{\delta}$ de la estrella y su distancia cenital $\boldsymbol{z}$ en su paso por el meridiano de dicho lugar, que permite calcular $\boldsymbol{\delta}$ cuando se conocen $\boldsymbol{\varphi}$ y $\boldsymbol{z}$. Esta última es la que se mide con ayuda del círculo meridiano.

38. **Relación entre $\boldsymbol{\delta}$, $\boldsymbol{\varphi}$ y $\boldsymbol{z}$** (*). — *La declinación de una estrella es igual, en valor absoluto y en signo, a la ~~diferencia~~ entre la latitud de un lugar y la distancia cenital de dicha estrella en su paso por el meridiano superior de ese lugar.*

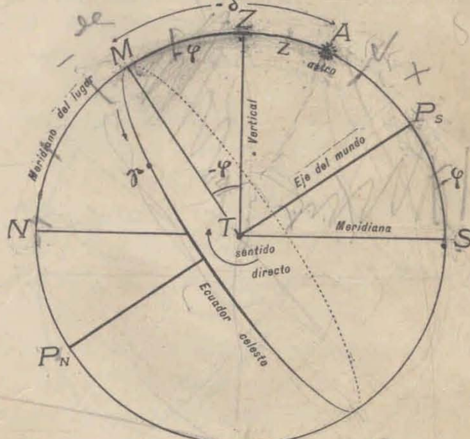
En símbolos: $|\boldsymbol{\delta}| = |\boldsymbol{\varphi}| \pm |\boldsymbol{z}|.$

(*) Recuérdese que cuando se escribe un número en «negrita» se quiere indicar que puede ser positivo o negativo.

$\gamma = \varphi - z$
$\gamma = -(\varphi - z)$
$\delta = \varphi - z$

CONVENCIÓN. — *La distancia cenital de un astro en su paso por el meridiano, es ~~positiva~~ o ~~negativa~~ según que dicho astro culmine entre el cenit y el Sud o entre el cenit y el Norte, respectivamente.* Neg. Positiva

Un astro puede pasar por el meridiano superior del lugar, entre el cenit y el polo, o entre el cenit y el Ecuador o entre el Ecuador y el cardinal N.



1er CASO. — *El astro culmina entre el cenit y el Polo Sud;* o sea el punto Z es interior al $\widehat{MA}$ luego por definición de suma de arcos:

$$\widehat{MA} = \widehat{MZ} + \widehat{ZA}$$

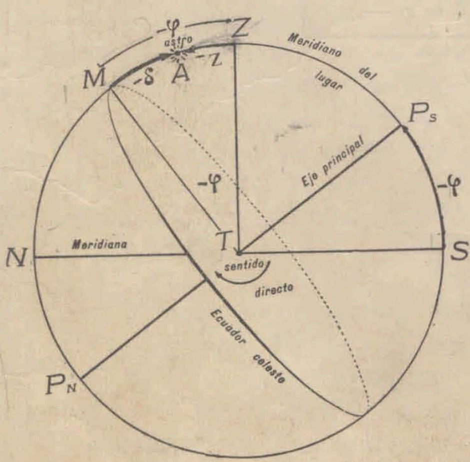
Pero $\widehat{MZ} = P_S S = |-\varphi| = \varphi$

$\widehat{ZA} = |+z| = z$

y $\widehat{MA} = |-\delta| = \delta$

o sea $\delta = \varphi + z$ y multiplicando por -1 da $-\delta = -\varphi - (+z)$

o lo que es lo mismo $\boxed{\delta = \varphi + z}$



2º CASO. — *El astro culmina entre el cenit y el Ecuador;* o sea el punto Z es exterior al $\widehat{MA}$, luego por definición de diferencia de arcos:

$$\widehat{MA} = \widehat{MZ} - \widehat{ZA}$$

Pero $\widehat{MZ} = P_S S = |-\varphi| = \varphi$

$\widehat{ZA} = |-z| = z$

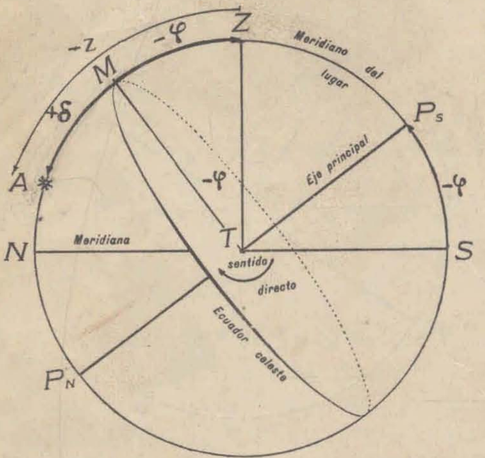
y $\widehat{MA} = |-\delta| = \delta$

$\delta = -\varphi + z$

o sea $\delta = \varphi - z$ y multiplicando por -1 da $-\delta = -\varphi - (-z)$

o lo que es lo mismo $\boxed{\delta = \varphi - z}$

3er Caso. — *El astro culmina entre el Ecuador y el punto cardinal Norte*, o sea el punto Z es exterior al $\overset{\frown}{MA}$, luego por definición de diferencia de arcos:



$$\overset{\frown}{MA} = \overset{\frown}{ZA} - \overset{\frown}{MZ}$$

y como $\overset{\frown}{MZ} = \overset{\frown}{P_S S} = |-\varphi| = \varphi$

$$\overset{\frown}{ZA} = |-z| = z$$

y $\overset{\frown}{MA} = |+\delta| = \delta$

o sea $\delta = z - \varphi = -\varphi + z$ luego $+\delta = -\varphi - (-z)$

o lo que es lo mismo $\boxed{\delta = \varphi - z}$ $-\delta = -\varphi - z$

$\delta = -z + \varphi$

$\delta = \varphi - z$

$\delta = -15 + 45$

$= 45 - 15$

"Ad ogni uccello il suo nido è bello"

... Si te pesca Martín !!! ...

CAPITULO V

TIEMPO SIDEREO

PROGRAMA. — *Duración del día sidereo. Origen del día sidereo. El tiempo sidereo es igual al ángulo horario del punto Vernal. La relación* $\theta = \alpha + t$.

41. **Duración y orígen del dia sidereo.** — Recordemos que se llama *día sideral* al intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos de una misma estrella por el meridiano superior de un lugar.

Como al punto γ lo podemos suponer coincidente con una estrella, es lícito definir también al día sidereo de la manera siguiente: Se llama *día sidereo* al intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del punto Vernal por el meridiano superior del lugar.

Su *duración* es igual a la de una rotación completa de la Tierra alrededor de su eje, que se admite como constante, y tiene por *origen* el instante en que γ se encuentra en el meridiano superior, siendo en ese momento 0 horas.

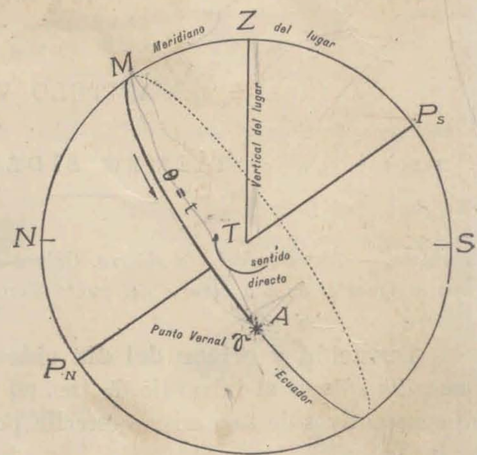
El tiempo sidereo sólo se usa en Astronomía. El que miden nuestros relojes comunes se llama *tiempo civil.*

La fecha de un suceso astronómico se fija dando el día en tiempo civil y la hora en tiempo sidereo, comprendida entre 0 h y 24 h. Así, por ejemplo, se dice la estrella α Escorpión o Antarés pasa por el Meridiano de Greenwich el día 10 de Junio de 1931 a las 16 h 25 min 13 seg, 048.

42. **Angulo horario del punto vernal.** — Teniendo en cuenta que el punto Vernal, considerado como una estrella, recorre el Ecuador con movimiento uniforme en 24 h a partir del meridiano, y que el ángulo horario de esa estrella es el arco de Ecuador comprendido entre el meridiano superior del lugar y el pie del de la

$\theta = \alpha + t$

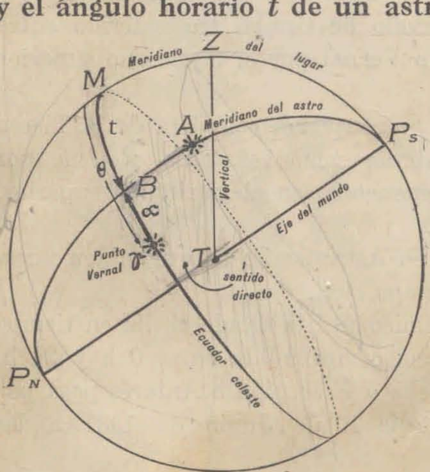
estrella que es el mismo punto γ, resulta que el arco Mγ expresado en horas da el valor del tiempo sidereo y del ángulo horario de γ para el meridiano del lugar, o sea que:



El tiempo sidereo u hora siderea en un lugar dado, es igual al ángulo horario del punto Vernal, con respecto al meridiano de ese lugar.

En símbolos: $\theta = t$ siendo t el ángulo horario del punto Vernal.

43. **Relación entre el tiempo sidereo θ, la ascensión recta α y el ángulo horario t de un astro dado.** — Sea una estrella A cuya ascensión recta es α y su ángulo horario es t en el instante en que en el meridiano del lugar son θ h. Si $\theta > t$ esto equivale a decir que primero ha pasado por el meridiano el punto Vernal y luego la estrella (*).



ascensión recta se mide s/el Ecuador

Llamando M al medio-cielo, B al pie del meridiano del astro sobre el Ecuador y γ al punto Vernal, resulta que B es interior al $\overset{\frown}{M\gamma}$ luego por definición de suma de arcos, se tiene:

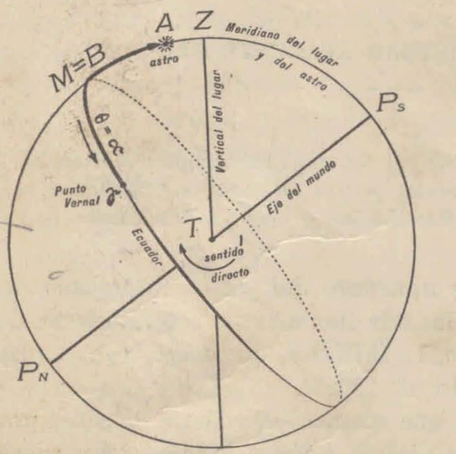
$\overset{\frown}{M\gamma} = \overset{\frown}{MB} + \overset{\frown}{B\gamma}$ o sea $\boxed{\theta = \alpha + t}$ lo que nos dice que:

(*) Para que eso haya sucedido cuando el punto γ sea uno de los del arco MB es necesario que γ haya dado una vuelta antes de encontrarse en esa posición o lo que es lo mismo que su horario sea Mγ + 24 h.

$\theta = t + \alpha$

El tiempo sidereo u hora siderea de un lugar es igual a la ascensión de una estrella más el ángulo horario de la misma con respecto a ese lugar.

Corolario. — Teniendo en cuenta que cuando una estrella pasa por el meridiano de un lugar su ángulo horario es $t = 0$ se tiene por la relación anterior que:



$$\boxed{\theta = \alpha}$$ es decir que:

El tiempo sidereo de un lugar, en un instante dado, es igual a la ascensión recta de una estrella cualquiera que en ese instante culmina en ese lugar.

Como existen tablas que suministran las ascensiones rectas de las estrellas, como por ejemplo las del «Connaissance des Temps», año 1931, págs. 266 a 280, es posible poner en hora un reloj sidereo marcando en él la ascensión recta de una estrella que culmina en el meridiano superior del lugar de observación y poniendo en marcha ese reloj en el preciso instante en que se efectúa la culminación.

La observación del paso de la estrella por el meridiano se hace con un instrumento en que el eje de su anteojo está situado en dicho plano. Ese aparato es el *anteojo de paso.* Se pueden hacer observaciones de paso aproximadas empleando un teodolito.

Corolario II. — De la fórmula

$$\theta = \alpha + t \quad \text{resulta} \quad \boxed{t = \theta - \alpha}$$

que nos permite pasar del sistema de coordenadas ecuatoriales absolutas al sistema de ecuatoriales horarias, y poder fijar la posición de un astro cualquiera con respecto al meridiano de un lugar dado.

Estudiantes 0
Tigre 3
4/12/38
C.A.T
club. Atlético Tigre

CAPITULO VI

MOVIMIENTO CIRCULAR APARENTE DEL SOL

PROGRAMA. — *Movimiento aparente del Sol. La Eclíptica. Los equinoccios, los solsticios. Los trópicos, los círculos polares. El zodíaco. Oblicuidad de la Eclíptica ε. Coordenadas eclípticas. Latitud y longitud de un astro.*

45. **Movimiento circular aparente del sol.** — Recordemos que el Sol se mueve respecto de las estrellas sobre la esfera celeste, describiendo un círculo máximo, la Eclíptica, que forma con el plano del Ecuador un ángulo diedro de 23°27′.

Habíamos dicho, también, que a esa conclusión se llegaba, prácticamente, fijando sobre una pizarra esférica las posiciones diarias del Sol durante un año mediante el sistema de coordenadas ecuatoriales absolutas. Esta operación puede hacerse sacando los valores de esas coordenadas de una Efeméride, y comprobar lo observado a simple vista en el párrafo (nº 35), es decir:

1º *El Sol describe, aparentemente, sobre la esfera celeste una circunferencia máxima llamada Eclíptica al cabo de un año;*

2º *El Sol recorre diariamente en ascensión recta un arco de* 1° *aproximadamente;*

3º *La declinación Sol varía de* $+23°27'$ a $-23°27'$.

46. **Los equinoccios y los solsticios.** — Habíamos dado también (nº 35) las siguientes:

DEFINICIONES. — Se llaman *equinoccios* a los extremos del diámetro común, a la Eclíptica y al Ecuador.

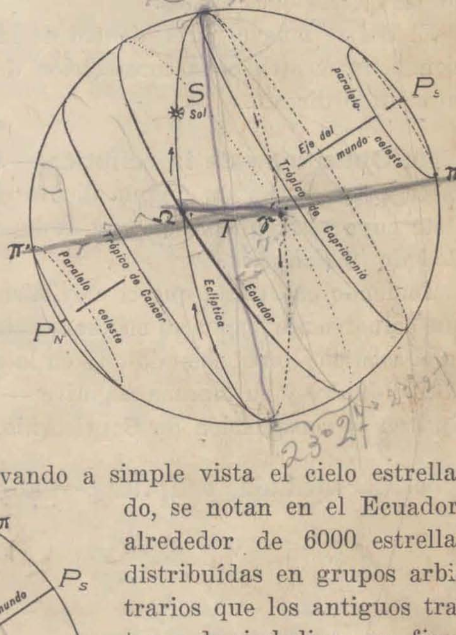
Se llama *Equinoccio de Otoño, punto Vernal* o *punto* γ al equinoccio por el que pasa el Sol del hemisferio Sud al Norte y al otro equinoccio, *equinoccio de Primavera* o *punto libra* (♎).

Definición. — Se llaman *solsticios* a los extremos del diámetro perpendicular al de los equinoccios.

El solsticio perteneciente al hemisferio Sud se llama *Solsticio Sud o de Verano* y el otro situado en el hemisferio Norte *Solsticio Norte o de Invierno*.

47. Los trópicos y los círculos polares. — Definición. — Se llaman *trópicos* a los paralelos que pasan por los solsticios.

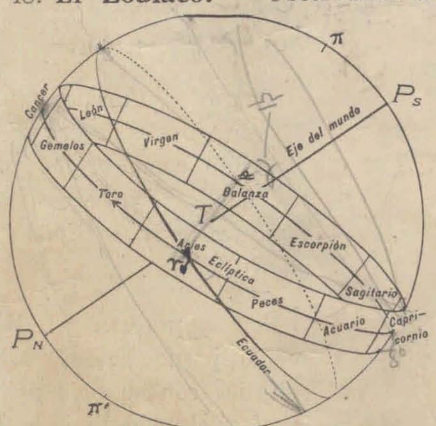
El que pasa por el Solsticio Sud se llama *trópico de Capricornio* y el que pasa por el Solsticio Norte *trópico de Cáncer.*



Definición. — Se llaman *círculos polares* a los paralelos que pasan por los polos de la eclíptica.

Los círculos polares se llaman *antártico* o *ártico*, según que estén situados en el hemisferio Sud o Norte respectivamente.

48. El Zodíaco. — Observando a simple vista el cielo estrellado, se notan en el Ecuador, alrededor de 6000 estrellas distribuídas en grupos arbitrarios que los antiguos trataron de simbolizar con figuras mitológicas. Tales agrupaciones de estrellas se llaman *constelaciones,* siendo muy conocidas en nuestra latitud la constelación de la *Cruz del Sud,* la de *Orión* con las *Tres Marías,* el *Escorpión* con *Antarés,* la del *Centauro,* etc.



Los nombres y la forma de estas agrupaciones, tienen la ventaja de poder indicar fácilmente la posición de una estrella sobre la esfera celeste.

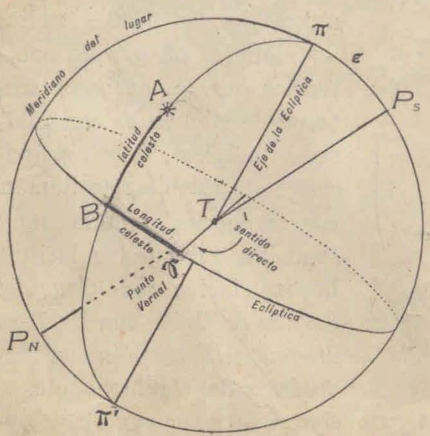
Son muy conocidas las constelaciones comprendidas en la zona esférica cuyas bases son las circunferencias paralelas a la eclíptica situadas a 8° de dicho plano. Esas constelaciones, en número de doce, se llaman *Las constelaciones del Zodíaco* y llevan los nombres siguientes: Peces, Carnero, Toro, Gemelos, Cangrejo, León, Virgen, Balanza, Escorpión, Sagitario, Capricornio y Acuario y se suceden en el orden indicado a partir de la primera, que es la que contiene actualmente al punto γ, contando en sentido directo o de las ascensiones rectas.

El Sol se mueve, pues, dentro de la zona del Zodíaco, permaneciendo un mes en cada constelación de dicha zona, y recorriéndola en sentido directo.

49. **Oblicuidad de la eclíptica.**— Hemos dicho que el plano de la eclíptica forma un ángulo diedro de 23°27′ con el Ecuador celeste cuya sección normal, que designamos con ε, se llama *oblicuidad de la Eclíptica.*

Teniendo en cuenta que el movimiento del Sol es directo, resulta que actualmente llega a su máxima declinación positiva $+\delta = 23°27'$ en el solsticio Norte, cuando está en la constelación del Cangrejo (en latín *Cáncer*) y su mínima negativa $-\delta = -23°27'$ en el solsticio Sud en la constelación de Capricornio.

50. **Coordenadas eclípticas.** — Los elementos característicos de este sistema son:



Plano fundamental: *El círculo de la eclíptica* tomando como *origen* para medir sus arcos al *Equinoccio de Otoño o punto* γ.

Eje principal: El diámetro perpendicular a la eclíptica con su *polo principal* π el polo Sud de la misma.

Con estos elementos pueden definirse las coordenadas eclípticas de un astro cualquiera A en la siguiente forma:

Definición I. — Se llama *longitud celeste* de un astro A al arco Eclíptica γB comprendido entre el punto Vernal γ y el pie del círculo máximo determinado por el astro y el eje de la Eclíptica medido de 0° a 360° en sentido directo (opuesto al movimiento diurno).

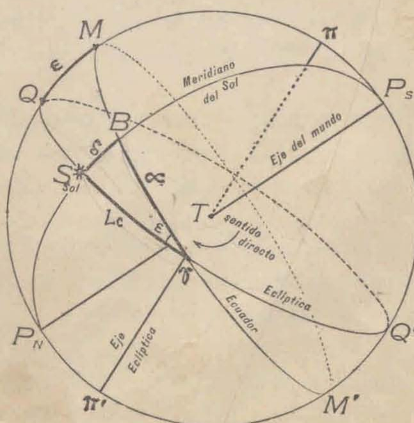
Definición II. — Se llama *latitud celeste* de un astro A al arco AB del círculo máximo determinado por el astro y el eje de la Eclíptica, comprendido entre el astro y su pié sobre la Eclíptica, medido de 0° a + 90° o de 0° a — 90° a partir de dicho plano según que el astro pertenezca al hemisferio Norte o Sud respectivamente, respecto del plano de la Eclíptica.

Notación. — Con L se designa la longitud y con λ la latitud celeste de un astro.

Corolario. — *La latitud celeste del Sol es nula.*

Efectivamente: el Sol se mueve sobre la Eclíptica y es a partir de ese plano que se cuentan las latitudes celestes.

Observación. — El sistema de *coordenadas eclípticas* se dice que es un *sistema absoluto* puesto que la longitud y latitud celestes son independientes del lugar de observación.



En la práctica estas coordenadas no se miden directamente con aparatos, sino que se las determina en función de las coordenadas ecuatoriales absolutas mediante la resolución de un triangulo esférico.

Para el caso del Sol, por ejemplo, bastaría resolver el triángulo esférico rectángulo γBS del cual se conocen sus catetos α y δ y el ángulo ε.

Las coordenadas eclípticas tienen mucha importancia en Astronomía, pues ellas han permitido descubrir un pequeño movimiento de retroceso del punto Vernal, respecto de las estrellas, al observar que las longitudes de éstas aumentaban anualmente de un arco de $50'',2$. Ese movimiento se llama de *retrogradación del punto Vernal* o *precesión de los equinoccios.*

CAPITULO VII

MEDIDA DEL TIEMPO

PROGRAMA. — *Tiempo sidereo y tiempo civil. El día solar verdadero y el día solar medio. El tiempo medio* T_m, *el tiempo verdadero* T_v *y la ecuación del tiempo* e. *La relación* $T_m = T_v + e$. *Día civil y día medio astronómico. Hora legal de un país. Crepúsculo astronómico y civil.*

52. **Tiempo sidereo y tiempo civil.** — Habíamos dicho (nº 41) que el tiempo sidereo sólo se utilizaba en Astronomía. No se emplea en la vida corriente, pues las actividades del hombre están íntimamente ligadas con los intervalos de tiempo que llamamos vulgarmente *día* y *noche*, según que exista o no la luz solar.

Si se utilizara el tiempo sidereo no habría concordancia entre la realidad física de lo que llamamos día o noche con las horas que marcaría un reloj sidereo, pues debido al movimiento anual de traslación del Sol respecto de la Tierra, resulta que ese astro culmina en un cierto meridiano en todos los instantes de un día sidereo, desde que cada día pasa 4 min, aproximadamente, más tarde que en el anterior.

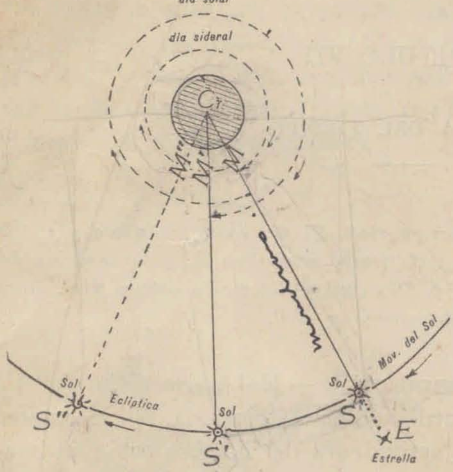
Por esta razón se ha creado el llamado *tiempo civil* que es, como dijimos, el que marcan nuestros relojes comunes. Estudiaremos el proceso seguido para poder determinar esa clase de tiempo.

53. **Día solar verdadero.** — DEFINICIÓN. — Se llama *día solar verdadero* al intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol (que llamamos *Sol verdadero*) por el meridiano superior de un lugar.

Su duración no es constante como puede comprobarse al medir la de varios días consecutivos con un reloj sidereo.

Es necesario tener presente además que el *día solar no es igual al día sidereo.*

En efecto: Sea C_T el centro de la Tierra supuesta fija y S el centro del Sol en el instante que pasa por el meridiano del lugar.



Si el Sol permaneciese fijo, como las estrellas, respecto de la Tierra, al dar ésta una vuelta completa, se encontraría el Sol en el mismo meridiano M, luego el tiempo transcurrido entre esos dos pasajes sería, por definición, igual a un día sidereo.

Pero cuando la Tierra ha efectuado una rotación completa alrededor de su eje el Sol ocupa la posición S' puesto que se traslada sobre la eclíptica, recorriendo un arco SS'. Luego culminará en el meridiano de M', después del tiempo necesario para que la Tierra describa todavía el arco MM'. En consecuencia el *día solar tiene mayor duración que el día sidereo.*

Por otra parte debemos hacer notar que la *duración del día solar no es constante.*

En efecto: El movimiento aparente del Sol alrededor de la Tierra no es uniforme. Luego los arcos SS' y S'S'' que recorre en tiempos iguales (1 día sidereo) no son iguales y por lo tanto, tampoco lo son los arcos $\overparen{MM'}$ y $\overparen{M'M''}$ que debe girar la Tierra, después de efectuar una rotación completa alrededor de su eje, para volver a ver al centro del Sol sobre un mismo meridiano.

Como el movimiento de rotación de la Tierra es uniforme no serán iguales los tiempos empleados en girar dichos arcos, y son precisamente esos tiempos los que se deben agregar al empleado en efectuar una rotación completa (día sidereo), es decir, para que se cumpla un día solar verdadero (*).

(*) Conviene hacer observar que aunque el movimiento del Sol fuese uniforme, vale decir, que los arcos recorridos sobre la Eclíptica durante un dia sidereo fuesen iguales,

54. **Día solar medio.** — Como el día solar verdadero no es constante, según acabamos de demostrar, no resulta apropiado para la medida del tiempo. Es por eso que los astrónomos han creado otra clase de tiempo, pero íntimamente ligado al solar verdadero, dada la gran influencia que dicho astro tiene en la vida humana.

El conjunto de días solares verdaderos comprendidos entre dos pasos sucesivos del Sol por un mismo equinoccio se llama *año trópico verdadero.* Si dividimos la suma de las duraciones de los días solares de un año por el número de días, obtenemos el promedio de dichas duraciones, que recibe el siguiente nombre de acuerdo con la

DEFINICIÓN. — Se llama *día solar medio* al promedio de las duraciones de los días solares verdaderos de un año.

DEFINICIÓN. — Se llama *tiempo medio* al que resulta de la sucesión de días solares medios.

Conviene hacer notar que si existiese un astro que recorriera el Ecuador con movimiento uniforme, empleando el mismo tiempo que el Sol verdadero en recorrer la Eclíptica, el intervalo necesario para que dicho astro pase dos veces consecutivas por un mismo meridiano sería igual a lo que hemos llamado *día solar medio.*

Es en base a esta consideración y con el objeto de unificar el estudio de las diversas clases de tiempo, que se supone la existencia de tal astro y se le llama *Sol medio.*

Luego las definiciones dadas para día y hora sideral y verdadera se pueden repetir para las horas y días medios. Así tendríamos:

DEFINICIÓN. — Se llama *día solar medio* al intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del centro del Sol medio por el meridiano de un lugar.

DEFINICIÓN. — Se llama *hora media local* en un lugar y en un instante determinados al ángulo horario del Sol medio en ese instante en dicho lugar.

Las épocas se fijan dando los días en tiempo medio y la hora media comprendida entre 0 h y 24 h.

---

no lo serían los días solares verdaderos pues las proyecciones de esos arcos sobre el Ecuador, que expresados en tiempos son los días verdaderos, no son iguales.

RELACIÓN ENTRE EL TIEMPO MEDIO Y EL VERDADERO. — Hemos dicho que el tiempo que dan nuestros relojes es tiempo medio. Podría dudarse de cómo se hace para determinar ese tiempo estando referido a un astro ficticio.

Ya vimos en qué forma estaba ligado el Sol verdadero (astro real) con el Sol medio, de acuerdo con la definición. Veremos ahora como se pasa de la hora *verdadera* a la *media* y recíprocamente.

55. **El día solar medio y el sidereo.** — Si se determina, con mucho cuidado, el número de días medios que transcurren entre dos pasos consecutivos del Sol por un equinoccio, el punto γ por ejemplo, es decir, durante un año, se encuentra que ese número es igual a 365,2422.

Luego $\quad$ 1 año = 365,2422 días medios $\quad$ [1]

Pero como en ese mismo intervalo de tiempo el punto γ ha dado una vuelta más alrededor de la Tierra, puesto que el movimiento de traslación del Sol es de sentido contrario al movimiento diurno, se tiene que un año expresado en días sidereos será igual a 366,2422.

Luego $\quad$ 1 año = 366,2422 días sidereos $\quad$ [2]

De [1] y [2] resulta por la consecuencia del carácter transitivo de la igualdad

$$365{,}2422 \text{ días medios} = 366{,}2422 \text{ días sidereos}$$

y por lo tanto
$$1 \text{ día medio} = \frac{366{,}2422 \text{ días sidereos}}{365{,}2422}$$

o sea
$$\boxed{1 \text{ día medio} = 1{,}0027379 \text{ días sidereos}}$$

lo que nos dice que el *día medio es mayor que el sidereo.*

La diferencia entre el primero y el segundo es 0,0027379 días sidereos o sea 3 min 56 seg, 555 de tiempo sidereo = 3 min 55 seg, 909 de tiempo medio.

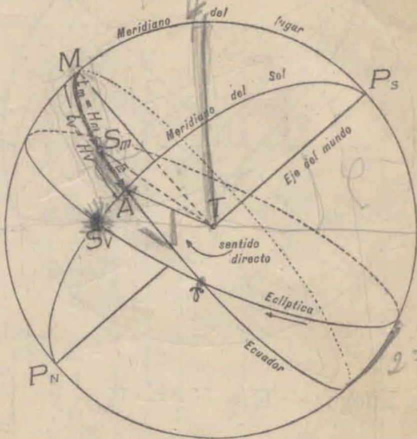
Esta diferencia se llama *aceleración de las fijas.*

Luego $\quad$ 1 *día medio* = 1 *día sidereo* + 3 min. 56 seg., 555

y $\quad$ 1 *día sidereo* = 1 *día medio* — 3 min. 55 seg., 909

56. El tiempo medio, el tiempo verdadero y la ecuación del tiempo.— Sean para un mismo instante, S_m la posición del Sol medio y S_v la del Sol verdadero.

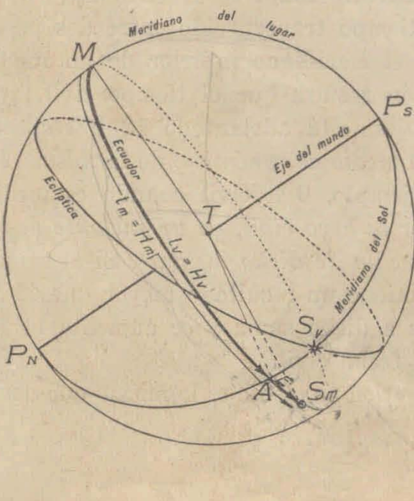
Los ángulos horarios MS_m y MA del Sol medio y del verdadero, respectivamente, dan las horas medias y verdaderas en el meridiano del lugar.



Como en general los dos soles tienen distinto ángulo horario en un mismo instante son distintas las horas medias y verdaderas correspondientes a un mismo lugar.

Consideremos el caso de la figura, es decir, que el Sol verdadero haya pasado antes que el medio por el meridiano del lugar (eso sucedería por ejemplo entre el 26 de Diciembre y el 15 de Abril o entre el 15 de Junio y 1º de Septiembre). En ese caso sería S_m interior al $\overset{\frown}{MA}$, luego, se tiene por definición de diferencia de arcos:

$\overset{\frown}{S_mA} = \overset{\frown}{MA} - \overset{\frown}{MS_m}$ o sea $\boxed{\overset{\frown}{S_mA} = H_v - H_m = -(H_m - H_v)}$



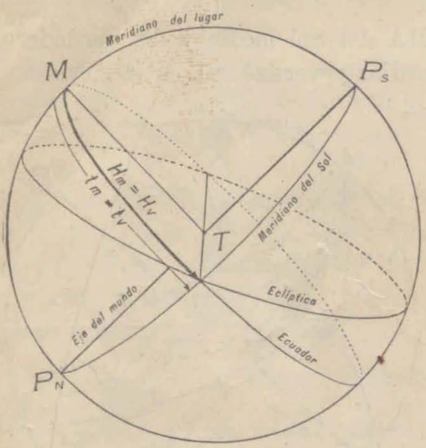
Supongamos ahora que el Sol medio pase por el meridiano del lugar antes que el verdadero (entre Abril 15 y Junio 15 o entre Septiembre 1º y Diciembre 26), en ese caso sería S_m exterior al $\overset{\frown}{MA}$, luego se tiene, por definición de diferencia de arcos:

$\overset{\frown}{S_mA} = \overset{\frown}{MS_m} - \overset{\frown}{MA}$ o sea

$$\boxed{\overset{\frown}{S_mA} = H_m - H_v}$$

$H_m = H_v + E$

Tercera posición. — El Sol verdadero y Sol medio se encuentran en un mismo meridiano en cuyo caso son iguales sus ángulos horarios, lo que sucede en los equinoccios y además el 16 de Abril y el 26 de Diciembre en el año 1931, por lo tanto:



$$\boxed{\widehat{S_mA} = H_m - H_v = 0}$$

La diferencia entre la hora media y la hora verdadera correspondiente a un mismo lugar en un cierto instante se llama *ecuación del tiempo* y se designa siempre con la letra E.

Luego $E = H_m - H_v$ y $\boxed{H_m = H_v + E}$ lo que nos dice que: *la hora media de un lugar es igual a la hora verdadera del mismo instante más la ecuación del tiempo.*

Como la ecuación del tiempo en el año 1931 varía entre + 14 min 22 seg, 44 y — 16 min 22 seg, 29, se ve que las horas verdaderas y medias simultáneas de un lugar difieren poco.

57. **Día civil y día medio astronómico.** — Definición. — Se llama *día civil* al intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol medio por el meridiano inferior de un lugar.

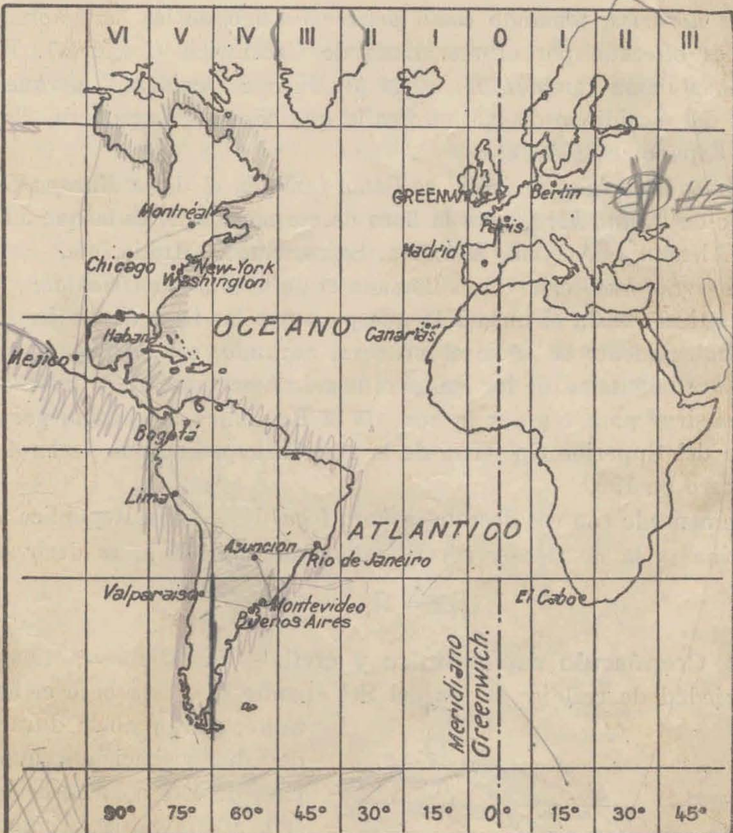
De acuerdo con esta definición resulta que el tiempo civil, que es el que marcan nuestros relojes, está adelantado 12 h respecto al tiempo medio, llamado *tiempo medio astronómico*, de la misma fecha, es decir, se cuenta, por ejemplo, 0 h civil cuando es media noche y en general: *para obtener la hora civil, en un instante dado, se le aumentan 12 h a la hora media de dicho instante.* Si al sumar estas 12 h a la hora media se obtiene un resultado mayor que 24 h, se le resta ese número de horas a dicha suma y se aumenta la fecha de un día para obtener la fecha civil.

Así: decir Enero 25, 5 horas de tiempo medio es lo mismo que decir

12

Enero 25, 17 horas de tiempo civil y decir Mayo 3, 16 horas de tiempo medio es lo mismo que Mayo 4, 4 horas de tiempo civil.

58. **Hora legal de un país.** — Perteneciendo el eje del mundo y el Ecuador terrestre a la línea de los polos de la esfera celeste y



al Ecuador celeste, respectivamente, resulta que a los meridianos terrestres corresponden en la esfera celeste círculos horarios, y que la longitud terrestre expresada en horas (a razón de 1 h por cada 15°) corresponden los ángulos horarios. En virtud de esto, *dos lugares de longitudes diferentes tienen horas simultáneas distintas y la diferencia entre ellas es igual a la de sus longitudes expresadas en tiempo.*

Para evitar los inconvenientes que ocasionaría en los servicios de trenes, en las comunicaciones telegráficas, radiotelefónicas, etc., el hecho de que las ciudades de un mismo país tuvieran horas diferentes y que las de países distintos difieran en fracciones de horas difíciles de recordar, se resolvió, en un Congreso reunido en París en el año 1912, *en dividir la esfera terrestre en 24 husos llamados husos horarios*, tomando como *primer huso* o de las *cero horas* el que es bisecado por el meridiano de Greenwich (Londres). Este huso se llama también *Huso de la Europa Occidental* porque la hora del meridiano de ese huso es la que adoptan Inglaterra, Francia, España, Bélgica, etc.

El *segundo huso Oriental* se llama también el de la *Europa Central* o de la *una hora*, pues la hora de ese meridiano es la que adoptan Alemania, Austria, Hungría, Suiza, Suecia, Italia, etc.

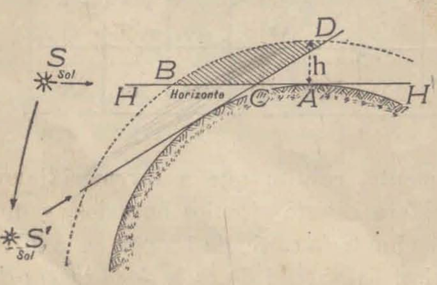
El *tercer huso* oriental es llamado el de la *Europa Oriental;* y así se continúa hasta el huso XII que pasa por las islas de Fidje.

Análogamente se tiene el *primero, segundo*, etc., *décimosegundo* husos occidentales, de los cuales el *cuarto huso* o sea el de las *cuatro horas* sirve para regular la hora de la República Argentina por decreto del Superior Gobierno de la Nación expedido con fecha 4 de Febrero de 1920.

De acuerdo con ese decreto la *hora legal* H_{4h} en la República Argentina es la de Greemvich H_G disminuída de 4 h, es decir,

$$H_{4h} = H_G - 4\,h.$$

59. **Crepúsculo astronómico y civil.** — La atmósfera tiene la propiedad de reflejar la luz del Sol cuando éste está bajo el horizonte, alargando la duración del día y haciendo que el paso de éste a la noche o de ésta al día no sea brusco.



Esa claridad que se observa entre el fin o el comienzo del día y el comienzo o fin de la noche, respectivamente, se conoce con el nombre de *crepúsculo.* El primero se llama también *alba* o *aurora* y el segundo, *crepúsculo vespertino* o *anochecer.*

La figura adjunta sirve para darnos una idea del fenómeno del *crepúsculo.*

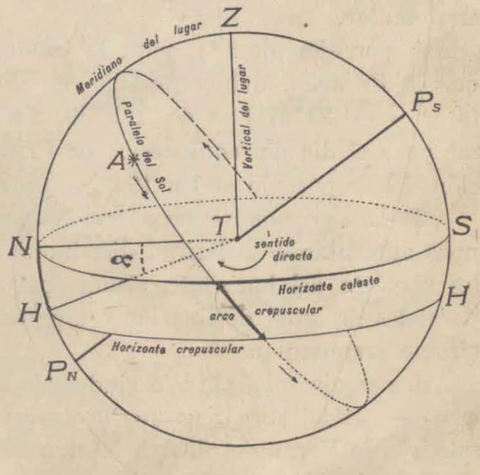
En ella se ha supuesto que la atmósfera rodee a la Tierra alcanzando un espesor h, y que los rayos solares no sufran desviación. En realidad el fenómeno es mucho más complejo.

Si consideramos un lugar A, éste recibirá luz directa mientras el Sol esté sobre su horizonte HH.'

Cuando el Sol ocupa una posición tal como la S', debajo de HH, todavía habrá una parte de la atmósfera, superior a ese plano HH, iluminada directamente y cuyo reflejo hace que el lugar A no quede en la obscuridad sino que reine en él una luz difusa que se llama *luz crepuscular.*

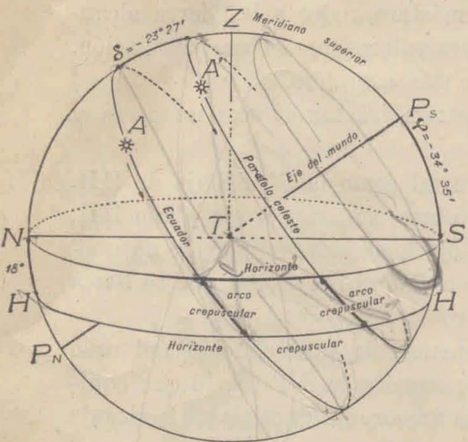
El crepúsculo trae como consecuencia la prolongación del arco diurno del Sol, pues su duración se suma a la del día, lo que equivale a contar dicho arco a partir de un círculo paralelo al horizonte y situado debajo de él.

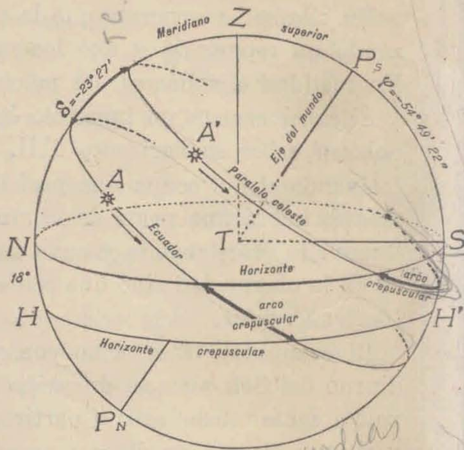
Se distinguen dos clases de crepúsculos: uno, llamado *crepúsculo civil,* es el producido por la luz del Sol que se refleja mientras éste recorre el arco de su paralelo comprendido entre el horizonte y el círculo paralelo a él situado a 6° debajo del mismo. Prácticamente la terminación del crepúsculo civil coincide con la aparición de las estrellas de primera magnitud.



El otro crepúsculo es llamado *crepúsculo astronómico,* y es el producido por la luz del Sol que se refleja mientras éste recorre el arco de su paralelo comprendido entre el horizonte y el círculo paralelo a él, situado a 18° debajo del mismo. Prácticamente la terminación del crepúsculo astronómico coincide con la aparición de las estrellas de sexta magnitud que son las menores que pueden observarse a simple vista.

INFLUENCIA DE LA LATITUD EN LA DURACIÓN DEL CREPÚSCULO. — La observación de las figuras nos indica que:





1º *La duración del crepúsculo varía con la declinación del Sol,* pues son diferentes, para la misma latitud, los arcos de paralelos de distinta declinación, comprendidos entre el horizonte y el círculo crepuscular.

Así, por ejemplo (*), para la Ciudad de Buenos Aires se tiene que la duración del crepúsculo el día del solsticio de Verano ($\delta_{\odot_v} = -23°27'$) es de 1 h 50 min 50 seg, y en ese mismo lugar para el día del equinoccio de Primavera ($\delta_{\odot_v} = 0$) la duración del crepúsculo es 1 h 19 min aproximadamente.

2º *La duración del crepúsculo aumenta con la latitud del lugar,* pues aumentando la latitud disminuye la inclinación de los paralelos respecto del horizonte, siendo, por lo tanto, mayores los arcos paralelos de igual declinación comprendidos entre el horizonte y el círculo crepuscular.

Así, por ejemplo, para la ciudad de Buenos Aires (latitud media $\varphi = -34°36'$) se tiene que la duración del crepúsculo el día del solsticio de Verano es de 1 h 50 min 50 seg, y para la misma fecha en Ushuaia (de latitud media $\varphi = -54°49'22''$) el crepúsculo de la tarde se une al matutino, es decir, no existe noche cerrada.

(*) Estos ejemplos fueron tomados de la obra *Trigonometría esférica y coordenadas astronómicas*, del Profesor Ing. D. MANUEL ORDOÑEZ.

CAPITULO VIII

CONVERSION DE INTERVALOS SIMULTANEOS DE TIEMPO

PROGRAMA. — *Transformación del tiempo. Convertir un intervalo de tiempo sidereo en tiempo medio y recíprocamente. Conversión del tiempo sidereo en tiempo medio en un mismo lugar. Conversión del tiempo verdadero en tiempo medio y recíprocamente. Conociendo el ángulo horario de un astro con respecto al meridiano del lugar, hallar el tiempo medio de dicho lugar. Hallar el tiempo del paso de una estrella por el meridiano de un lugar.*

61. **Transformación del tiempo.** — Habíamos dicho que el tiempo sidereo solo se usaba en Astronomía, y que en cambio en la vida práctica se utilizaba el tiempo medio civil, que difería poco del tiempo verdadero reglado por el Sol.

Como hay conveniencia en poder utilizar nuestros relojes comunes para las observaciones astronómicas, pues la hora que dan los mismos tiene para nosotros un significado muy claro respecto de la mayor o menor cantidad de luz existente para poder efectuar esas observaciones; de la posición del Sol con respecto al meridiano, etc., es necesario saber relacionar las diversas clases de tiempo.

NOTACIÓN. — Designaremos con I a los intervalos de tiempo, diferenciándolos con los subíndices *s, m, v* según sean de tiempo sidereo medio o verdadero, respectivamente, con lo que queda dicho que el número de horas, minutos y segundos que expresan esos intervalos son de la clase de tiempo que indica el subíndice.

DEFINICIÓN. — Dado un intervalo de tiempo de una de las tres clases: sidereo, medio o verdadero, se dice que se lo ha *transformado* en otro de las restantes, cuando se ha expresado su valor en unidades de esas clases de tiempos.

Vamos a estudiar ahora los diferentes problemas que pueden presentarse.

62. **Convertir un intervalo de tiempo sidereo en tiempo medio y recíprocamente.** — PROBLEMA I. — *Convertir el intervalo* $I\ h_s = 7\ h\ 24\ min\ 18\ seg$ *de tiempo sidereo en tiempo medio.*

DATOS) $I\ h_s = 7\ h\ 24\ min\ 18\ seg. = 7{,}405$ (*)

INCÓGNITAS) $I'\ h_m = I\ h_s$.

SOLUCIÓN. — Como *un día sidereo* equivale a *un día medio* menos $3\ min_m\ 55\ seg_m, 909$ (nº 55)

o sea $24\ h_s$ ——— $24\ h_m - 3\ min_m\ 55\ seg_m, 909$

$$1\ h_s \text{ ——— } \frac{24\ h_m - 3\ min_m\ 55\ seg_m, 909}{24} = 1\ h_m - 9{,}829\ seg_m$$

y $7{,}405\ h_s$ ——— $7{,}405\ h_m - 9{,}829\ seg_m \times 7{,}405$

En general un intervalo de $I\ h_s$ está expresado en horas medias, por

$$\boxed{I\ h_s = I\ h_m - 9{,}829\ seg_m \times I} \qquad [1]$$

En la práctica sólo se trabaja con horas y fracción para el cálculo del sustraendo de [1], que se llama *corrección*, y el cálculo se dispone así:

$$\begin{array}{lr} & 7\ h_m\ 24\ min_m\ 18\ seg_m \\ \textit{Correc.} = & \\ 9{,}829\ seg \times 7{,}405 = & 1\ min_m\ 12\ seg_m, 78 \\ \hline & I'\ h_m = 7\ h_m\ 22\ min_m\ \ 5\ seg_m, 22 \end{array}$$

(*) CALCULOS AUXILIARES

$24\ min\ 18\ seg = 24 \,.\, 60 + 18$

$= 1458\ seg$

$= \frac{1458}{3600}\ h = 0{,}405\ h$

$7\ h\ 24\ m\ 18\ s = 7{,}405\ h$

La observación de este ejemplo, resuelto en forma general, fórmula [1], nos permite enunciar la siguiente:

Regla. — *Para convertir un intervalo de tiempo sidereo en tiempo medio, se le cambia la denominación a las unidades del intervalo dado y se le resta el producto del número que expresa ese intervalo en horas y fracción por* 9,829 seg_m *(corrección horaria).*

Problema recíproco. — *Convertir el intervalo* I h_m = 5 h 22 min 45 seg, 55 *de tiempo medio en tiempo sidereo.*

Datos) I $h_m = 5\ h_m\ 22\ min_m\ 45\ seg_m,\ 55 = 5{,}3798\ h_m$ (*)

Incógnita) $I'h_s = I\ h_m$.

Solución. — Como *un día medio* equivale a *un día sidereo* más 3 min_s 56 seg_s, 555 (nº 55)

$$\text{o sea}\quad 24\ h_m \;\text{———}\; 24\ h_s + 3\ min_s\ 56\ seg_s,\ 555$$

$$1\ h_m \;\text{———}\; \frac{24\ h_s + 3\ min_s\ 56\ seg_s,\ 555}{24} = 1\ h_s + 9{\cdot}856\ seg_s$$

$$\text{y}\quad 5{,}3798\ h_m \;\text{———}\; 5{,}3798\ h_s + 9{,}856\ seg_s \times 5{,}3798$$

En general un intervalo de I h_m está expresado en horas sidereas, por

$$\boxed{I\ h_m = I\ h_s + 9{\cdot}856 \times I} \qquad [2]$$

En la práctica sólo se trabaja con las horas y fracción para el cálculo de segundo sumando de [2] que se llama *corrección,* y el cálculo se dispone así

(*) Cálculos auxiliares

22 min 45 seg,55 = 22 . 60 + 45,55
= 1365,55 seg
$= \frac{1365{,}55}{3600}$ h =
= 0,3798 h

5 h 2 min 45 s 55 = 5 h, 3798

$$\begin{array}{lr}
 & 5\ h_s\ 22\ min_s\ 45\ seg_s,\ 55 \\
\textit{Correc.} = & \\
9{,}856\ seg \times 5{,}3798 = & 0\ min_s\ 53\ seg_s,\ 02 \\
\hline
 & I'\ h_s = 5\ h_s\ 23\ min_s\ 38\ seg_s,\ 57
\end{array}$$

La observación de este ejemplo, resuelto en forma general, fórmula [2], nos permite enunciar la siguiente:

REGLA. — *Para convertir un intervalo de tiempo medio en tiempo sidereo, se le cambia la denominación a las unidades del intervalo dado por las del que se quiere hallar y se le suma el producto del número que expresa ese intervalo en horas y fracción por* 9,856.

63. **Conversión del tiempo sidereo en tiempo medio civil en el mismo lugar.** — PROBLEMA. — *Calcular la hora media civil correspondiente a las* 10 h 12 min *de tiempo sidereo de Greenwich, el día 20 de Enero de 1931.*

DATOS) H_s (hora siderea) = 10 h 12 min.
Fecha = 20/1/931.

INCÓGN.) H_c (hora civil) correspondiente a H_s el 20/1/931.

SOLUCIÓN. — Como sabemos transformar un intervalo sidereo en intervalo medio, veremos primero para la hora dada qué intervalo sidereo corresponde, pues los tiempos de un lugar se miden a partir del instante en que los astros a cuyo movimiento están referidos, pasan por el meridiano inferior del mismo y el punto Vernal γ y el sol medio $\odot_m$ no pasan juntos por dicho meridiano.

Como cuando el $\odot_m$ está en el meridiano inferior de Greenwich son las 0 h_c en ese lugar, si sabemos qué hora siderea marcan en ese instante los relojes, tendríamos:

$$\boxed{I = H_s - \text{hora siderea a 0 h civil de Greenwich}} \ (*) \quad [III]$$

y ese intervalo sidereo convertido en medio (problema anterior) nos resuelve la cuestión.

(*) La hora siderea a 0 h Tiempo civil de Greenwich se encuentra en la « C. des T. » páginas 10 a 24. números pares únicamente, en las columnas que llevan el nombre de « Temps sideral ».

Para nuestros datos tendríamos:

Fecha 20/1/931	*Hora sideral de Greenwich*		$= 10$ h 12 min
	Hora sideral de Greenwich a 0 h_c	$=$	7 h 53 min 38 seg, 27
	Intervalo sidereo I_s	$=$	2 hs 18 min 21 seg, 73
	Corrección $= 9{,}829$ seg I_s	$=$	22 seg, 712
Intervalo medio a partir de 0 h o sea	H_c	$=$	2 h 17 min 59 seg, 018

64. **Conversión del tiempo verdadero en tiempo medio.** — PROBLEMA. — *Calcular la hora media correspondiente a las* $H_v = 3$ h 15 min 36 seg *de tiempo verdadero de Greenwich el día 10 de Agosto de 1931.*

DATOS) $H_v = 10$ h 15 min 36 seg. INCÓGN.) H_m equivalente a H_v.

SOLUCIÓN. — Teniendo en cuenta que la diferencia entre la hora media y la hora verdadera correspondiente a un mismo instante en un lugar determinado es igual a la ecuación del tiempo (nº 56), se tiene:

$$H_m = H_v + E$$

Como E varía con el tiempo, si se conoce su valor E_o para 0 h verdadera y su variación V_h por hora, se tiene:

$$E = E_o + V_h \cdot H_v$$

La «*Connaissance des Temps*» da, en las páginas impares desde la 11 hasta la 25, el valor de la ecuación del tiempo más 12 h en la columna denominada «*Temps Civil*», y a la derecha de la misma el valor absoluto y el signo de la variación horaria V_h.

luego $$\boxed{H_m = H_v + E_o + V_h \cdot H_v} \qquad [V]$$

Para nuestros datos tendríamos:

$$15 \text{ min } 36 \text{ seg} = 15 \times 60 + 36 = 936 \text{ seg.}$$

$$\frac{936 \text{ seg}}{3600} = 0\text{h},26$$

$$10 \text{ h } 15 \text{ min } 36 \text{ seg} = 10 \text{ h}, 26$$

$$\text{Vh.Iv} = -0,350 \text{ seg} \times 10,26 \simeq -3 \text{ seg } 59$$

$$\begin{array}{lrr} & H_v = & 10 \text{ h } 15 \text{ min } 36 \text{ seg} \\ 10/8/931 \ E_0 & = & 5 \text{ min } 21 \text{ seg}, 33 \\ V_h \times H_v = & & -3 \text{ seg}, 59 \\ \hline H_m = H_v + & & \\ + E_0 + V_h . H_v = & & 10 \text{ h } 20 \text{ min } 53 \text{ seg}, 74 \end{array}$$

$$H_m = 10 \text{ h } 20 \text{ min } 53 \text{ seg}, 74.$$

La observación de este ejemplo, resuelto en forma general, fórmula [V], nos permite enunciar la siguiente:

Regla. — *Para calcular la hora media correspondiente a una hora verdadera de fecha dada, se le suma a dicha hora la ecuación del tiempo de esa fecha y el producto de su variación horaria por el intervalo verdadero dado expresado en horas y fracción.*

65. **Conociendo el ángulo horario de un astro con respecto al meridiano del lugar, hallar el tiempo medio de dicho lugar.** — Problema. — *Dado el ángulo horario* t = 30°45′ *de la estrella* α *del Can Mayor (Sirio) con respecto al meridiano de Greenwich el día 10 de Mayo de 1931, calcular el tiempo medio de ese lugar en ese instante.*

Datos) $t = 30°45'$ Incógnita) H_m correspondiente a t.

Solución. — Teniendo en cuenta (nº 43), que el tiempo sidereo de un lugar es igual a la ascensión recta de una estrella más el ángulo horario de la misma con respecto al meridiano de ese lugar, es decir, que $\theta = \alpha + t$ y que t expresado en horas, a razón de 15° por hora, es igual a 2 h 3 min, y que α según la «*C. des T.*» (*) es de 6 h 42 min 06 seg, 111, resulta

$$\theta = 6 \text{ h } 42 \text{ min } 06 \text{ seg}, 111 + 2 \text{ h } 3 \text{ min} = 8 \text{ h } 45 \text{ min } 06 \text{ seg } 111$$

(*) La *ascensión recta* de las principales estrellas se encuentra en la «C. de T.» páginas 373 a 468 donde dice: «Positions apparentes des étoiles».

Para resolver el problema propuesto basta encontrar el intervalo sidereo correspondiente a la hora θ y convertirlo en intervalo medio procediendo como se hizo en el problema del párrafo anterior. Pero como la hora dada es menor que la que se cuenta a 0 h de Greenwich, tendremos que sumarle 24 h para satisfacer a la condición de que γ haya pasado antes que el $\odot_m$ por el meridiano del lugar. Así tendríamos:

Hora siderea de Greenwich . . . . = 32 h 45 min 06 seg, 111

Hora siderea de Greenwich a 0 h del día 10 de Mayo de 1931 = 15 h 07 min 19 seg, 32

Intervalo sidereo I_s . . . . = 17 h 37 min 46 seg, 791

$$Corrección = \frac{3 \text{ min } 55 \text{ seg } 909}{24} \cdot I_s \ldots = 1 \text{ min } 02 \text{ seg}, 517$$

Intervalo medio a partir de 0 h_c o sea H_c = 17 h 36 min 44 seg, 274

66. **Hallar el tiempo del paso de una estrella por el meridiano de un lugar.** — Problema. — *Calcular la hora del paso de Sirio por el meridiano de Greenwich el día 4 de Diciembre de 1931.*

Datos) Estrella Sirio
$\alpha = 6$ h 42 min 06 seg 111

Incógnita) H_m correspondiente al pasaje de Sirio por el meridiano.

Solución. — Teniendo en cuenta que cuando la estrella pasa por el meridiano, su ángulo horario es $t = 0$, resulta que la hora siderea de ese pasaje es $\theta = \alpha$, luego para hallar la hora media correspondiente procedemos como en el problema anterior. Para nuestros datos tenemos:

Hora siderea de Greenwich . . . . = 6 h 42 min 06 seg, 111

Hora siderea de Greenwich a 0 h el día 4 de Diciembre de 1931 = 4 h 47 min 23 seg, 05

Intervalo sidereo I_s . . . . = 1 h 54 min 43 seg, 061

$$Corrección = \frac{3 \text{ min } 55 \text{ seg } 909}{24} \cdot I_s \ldots = 18 \text{ seg}, 793$$

Intervalo medio a partir a 0 h_c o sea H_c = 1 h 54 min 24 seg, 268

67. **Cambio de lugar.** — Como la « *Connaissance des Temps* » suministra todos los datos que dependen de la posición del observador, referidos al meridiano del Observatorio de Greenwich, por ser el tiempo civil de este meridiano el *tiempo universal*, cuando las observaciones se efectúan en un lugar distinto de Greenwich, es necesario saber pasar de los datos suministrados por la efeméride mencionada, a los del meridiano local.

Eso nos conduce a la resolución del problema llamado del *cambio de lugar* que se enuncia así:

PROBLEMA. — *Calcular la hora simultánea* H_ω *de un lugar de longitud* ω *con respecto al meridiano de Greenwich, cuando en éste son las* H_G *horas.*

DATOS) H_G, ω INCÓGNITA) H_ω simultánea con H_G.

SOLUCIÓN. — Recordando que (nº 58), la diferencia entre las horas simultáneas de dos lugares de longitudes diferentes es igual a la diferencia de éstas, expresadas en tiempo, y que la longitud del meridiano origen es 0 h, se tiene:

$$H_\omega - H_G = \omega$$

de donde: $\boxed{H_\omega = H_G + \omega}$ lo que nos dice que:

La hora en un lugar de longitud ω *es igual a la hora simultánea de Greenwich más la longitud de dicho lugar.*

PROBLEMA. — *Calcular la hora de Buenos Aires simultánea a la del paso de Sirio por el meridiano de Greenwich que tendrá lugar el día 4 de Diciembre de 1931 a la* 1 h 54 min 24 seg 268 *de tiempo civil.*

DATOS) H_G = 1 h 54 min 24 seg, 268

Longitud Bs. As. = ω = — 3 h 53 min 28 seg, 7

INCÓGNITA) H_ω simultánea de H_G.

Solución. — Aplicando la fórmula deducida en el párrafo anterior, se tiene:

$$
\begin{array}{rl}
H_G = & 1 \text{ h } 54 \text{ min } 24 \text{ seg}, 268 \\
\omega = & -3 \text{ h } 53 \text{ min } 28 \text{ seg}, 7 \\
\hline
H_G - \omega = H_\omega = & -1 \text{ h } 59 \text{ min } 04 \text{ seg}, 432
\end{array}
$$

El signo menos de H_ω se interpreta diciendo que el paso de Sirio por el meridiano de Greenwich, tendrá lugar, considerando la hora de Buenos Aires, un día antes de la fecha dada, es decir, el día 3 de Diciembre de 1931 a las 22 h 00 min 55 seg, 568 de tiempo civil.

Observación. — Si en lugar de calcular el tiempo medio de Buenos Aires correspondiente a la hora del paso de Sirio por el meridiano de Greenwich, deseáramos hallar la hora legal de ese paso hubiésemos procedido así:

Hora media de Greenwich $= H_G$ . . = 1 h 54 min 24 seg, 268

Longitud del meridiano de las 4 $h = \omega$ = − 4 h

Hora legal de Bs. As. . . . . = − 2 h 05 min 35 seg. 732

o sea el día 3 a las 21 h 54 min 24 seg 268.

68. **Determinación de la longitud geográfica de un lugar.**— Recordando que (nº 58) la diferencia entre las horas simultáneas de dos lugares de longitudes diferentes, es igual a la diferencia de éstas expresada en tiempo, y que la longitud del meridiano origen es 0 h, se tiene:

$\omega = H_\omega - H_G$ lo que nos dice que:

La longitud de un lugar es igual a la diferencia entre la hora de ese lugar y la simultánea de Greenwich.

De acuerdo con esto resulta que para hallar la longitud de un lugar es necesario conocer las horas que se cuentan en ese lugar y en Greenwich en un mismo instante.

Con el objeto de obtener esas horas simultáneas, suponiendo que cada observador conoce la hora correspondiente a su meridiano (nº 43), se recurre a cualquiera de los siguientes procedimientos:

1º *Señales radiotelegráficas.* — Como se transmiten diariamente desde el Observatorio de Greenwich las horas correspondientes al mismo, bastará registrar en el lugar cuya longitud se quiere determinar la hora que señala el cronómetro en el instante de recibir una de esas transmisiones.

2º *Señales luminosas.* — Se emplean cuando la distancia del lugar cuya longitud se quiere determinar al de origen es pequeña. Se hace estallar un cohete luminoso que resulte observable desde los dos lugares y se anotan en ambos la hora que marcan los relojes.

3º *Señales astronómicas.* — Se utilizan éstas en la misma forma que la anterior cuando la distancia entre los puntos de observación es grande.

Esas señales pueden ser, por ejemplo, la ocultación de una estrella por la Luna, o la de un satélite de Júpiter por el mismo planeta.

4º *Cronómetro reglado con la hora del meridiano origen.* — Este método consiste en determinar en un instante dado, por observaciones del Sol o de las estrellas, la hora correspondiente al lugar cuya longitud se quiere determinar, pues la del meridiano origen la marca directamente el cronómetro.

Es el método que empleaban los marinos, pues actualmente utilizan el primer método.

5º *Efemérides.* — Como éstas dan las horas correspondientes al meridiano origen para las cuales se producen las ocultaciones de estrellas por la Luna, o de los satélites de Júpiter por el mismo, bastará anotar en el lugar cuya longitud se quiere determinar la hora local en que se producen estos fenómenos.

NOTA. — Los métodos expuestos tomando como origen al meridiano de Greenwich, son aplicables cuando se toma a otro cualquiera de longitud conocida.

69. Determinación de la latitud geográfica de un lugar. — Teniendo en cuenta que la altura del polo sobre el horizonte es igual a la latitud del lugar, el problema de la determinación de ésta se reduce, para nosotros, a saber determinar la posición del Polo Sud.

MÉTODOS DE POCA APROXIMACIÓN. — Se apunta con el anteojo del teodolito al punto del cielo que se obtiene llevando tres veces y media a partir de la cabeza y en el sentido cabeza a pie el brazo mayor de la Cruz del Sur. El valor de la altura correspondiente a ese punto, cambiada de signo, es aproximadamente el de la latitud del lugar. Un valor más aproximado es el que da la altura de la estrella σ Octantis, que es de magnitud 5,5 de color azulado y que solo dista del polo $47',2$.

MÉTODOS DE GRAN APROXIMACIÓN. — *Observación de las estrellas circumpolares.* — Habíamos visto (nº 25) que:

La altura del polo sobre el horizonte de un lugar, o sea la latitud del mismo, es igual a la semisuma de las alturas de una misma estrella circumpolar en sus dos culminaciones.

Luego procediendo como se indicó en el párrafo nº 25 se puede calcular la latitud de un lugar.

Observación de estrellas en el instante de su culminación. — Midiendo con un teodolito la distancia cenital z de una estrella conocida en el instante de su paso por el meridiano superior del lugar, y sacando de una efeméride el valor δ de la declinación de esa estrella resulta, de acuerdo con la fórmula deducida en el número 38,

$$\varphi = z + \delta.$$

Conviene observar varias estrellas cuyos pasos por el meridiano se sucedan cada cinco o seis minutos, y hallar el promedio de los valores de la latitud determinados con cada una de las estrellas.

Existen además otros métodos más precisos que los anteriores pero cuya explicación no corresponde a un curso elemental como este.

CAPITULO IX

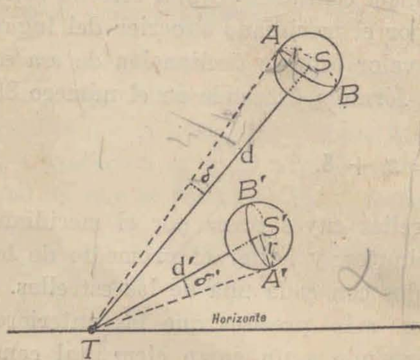
MOVIMIENTO RELATIVO DEL SOL RESPECTO DE LA TIERRA

PROGRAMA. — *Movimiento relativo del Sol respecto de la Tierra. Forma de la órbita del Sol. Línea de los ápsides, perigeo y apogeo. Año sideral, año trópico y año civil. Calendario. Reforma Juliana y reforma Gregoriana.*

70. **Semidiámetro aparente de un astro.** — Como al observar al Sol, a la Luna y a los planetas se nos presentan bajo la forma de discos circulares, para poder referir las observaciones al centro de dichos astros, es necesario visar los bordes de los mismos y hallar la bisectriz del ángulo que forman esas visuales.

Esta operación es imposible de efectuar con las estrellas, pues éstas se presentan siempre como un punto, por potente que sea el aumento del anteojo con que se las observa.

DEFINICIÓN. — Se llama *semidiámetro aparente* de un astro al ángulo formado por la visual dirigida al centro del mismo y a uno de sus bordes en el mismo instante.



Para encontrar el *semidiámetro* basta hallar la mitad del ángulo formado por las visuales dirigidas a dos bordes opuestos del astro. En la práctica se hacen estas mediciones con anteojos provistos de un hilo móvil y otro fijo, pudiéndose medir los desplazamientos angulares del primero con un tornillo micrométrico. Veremos ahora cómo varía el semidiámetro aparente de un astro en función de la distancia de su centro al punto de observación.

Sean S y S′ dos posiciones de un astro de radio r, d y d' las distancias del centro del astro al punto de observación en esas posiciones, δ y δ' los semidiámetros correspondientes.

En los triángulos rectángulos SAT y S′A′T se tiene:

$$\operatorname{sen} \delta = \frac{r}{d} \quad \text{y} \quad \operatorname{sen} \delta' = \frac{r}{d'}$$

o bien, como δ y δ' son ángulos muy pequeños, para todos los astros de diámetro aparente, reemplazando el seno por el arco, resulta:

$$\delta = \frac{r}{d} \quad \text{y} \quad \delta' = \frac{r}{d'}$$

Luego si $d > d'$ es $\delta < \delta'$, pues de dos fracciones de igual numerador es la menor la que tiene mayor denominador, lo que nos dice que:

Los semidiámetros aparentes de un astro y las distancias de su centro al lugar de observación son inversamente proporcionales.

Si se miden los semidiámetros aparentes del Sol en diferentes épocas del año, se comprueba de que es variable. La «*C. des T.*», año 1931, en las páginas impares de 11 a 25 da el valor de los semidiámetros aparentes del Sol para cada día del año.

Damos a continuación el valor de esos semidiámetros para el primer día de cada mes.

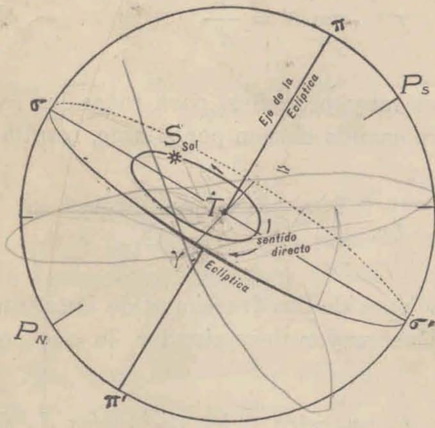
Mes . . .	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
$\delta_{\odot v}$ . . .	16′17″,55	16′15″,42	16′9′,96	16′1″,75	15′53″,83	15′47″,80

Mes . . .	Julio	Agosto	Setiembr.	Octubre	Noviemb.	Diciemb.
$\delta_{\odot v}$ . . .	15′45″,42	15′47″,09	15′52″,54	15′60″,21	16′8″,57	16′14″,72

Los valores diarios del semidiámetro nos permiten observar que éstos alcanzan un máximo el día 2 de Enero y un mínimo durante los días 4, 5, 6 y 7 de Julio.

(15' 46") (16' 18" sol)

71. Movimiento relativo del Sol con respecto de la Tierra.—Habíamos aceptado que el Sol se movía aparentemente respecto de la Tierra, en un plano llamado Eclíptica. Vamos a determinar ahora la forma geométrica de la trayectoria u órbita del Sol.



Sea la $C_{(T)}$ la circunferencia máxima de la Eclíptica y γ el Equinoccio de Otoño que tiene lugar el día 21 de Marzo.

A partir de una semirrecta cualquiera $T\gamma$ llevamos otras de origen T que formen con ella ángulos iguales a las longitudes del Sol en distintas fechas, por ejemplo el 1º de cada mes, y hallamos el valor del semidiámetro del mismo en esa fecha.

Con este valor y el del radio del Sol podemos calcular, empleando la fórmula $d = \frac{r}{\delta}$, las distancias del centro del Sol al de la Tierra para las fechas mencionadas.

Por ejemplo: teniendo presente que el semidiámetro del Sol el día 21 de Septiembre es $\delta = 15'57'',49$ y que $r \cong 696000$ Km se tiene:

$$d = \frac{r}{\delta} = \frac{696000 \text{ Km}}{15'57'',49} \qquad [1$$

para poder hallar esta razón entre cantidades, debemos expresar el valor del arco δ en radianes. Como $15'57'',49 \cong 15',958$ (reduciendo los segundos y fracción a minutos) se tiene:

Si a $360° = 360 \times 60'$ le corresponde un arco cuya medida es 2π

a $15',958$ » » » » » » » x

luego $$x = \frac{2\pi \times 15',958}{360° \times 60} = \frac{\pi \times 15',958}{180° \times 60}$$

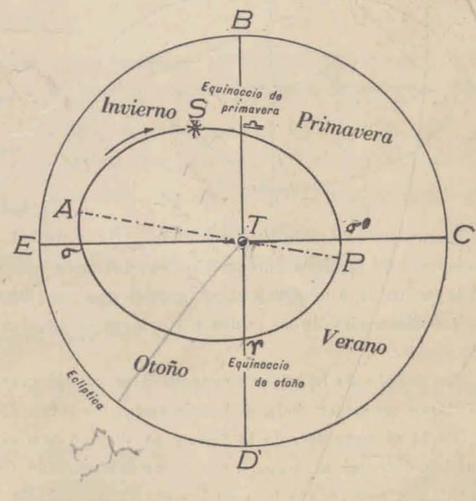
o bien $$x = \frac{\pi \times 15',958}{180° \times 60'} = \frac{\pi \times 15',958}{10\,800'}$$

o sea $$x = \frac{\pi \times 15,958}{10\,800'} \cong 0,00464.$$

Reemplazando en [1] tenemos

$$d = \frac{696\,000 \text{ Km}}{0,00464} \cong 150000000 \text{ Km.}$$

Llevando a partir de T sobre cada una de las semirrectas tales como $T\gamma$, las distancias correspondientes, en una escala apropiada, la curva que contiene a los puntos así determinados tiene la forma de la *órbita aparente del Sol en su movimiento de traslación anual*. Dicha curva es una *elipse en la que la Tierra ocupa uno de los focos* (*).



(*) Se llama *elipse* al lugar geométrico de los puntos de un plano tales que la suma de sus distancias a dos puntos, llamados *focos*, es igual a un segmento dado denominado *eje mayor* de la misma.

Sea $\overline{AB}$ el eje mayor de la elipse, F y F' los focos (figura de la página 74),

Si M es un punto cualquiera de $\overline{FF'}$, y con centro en F y radió $\overline{AM}$ trazamos

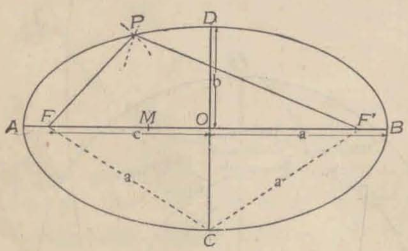
72. Línea de los ápsides, apogeo y perigeo. — Definición. — Se llama *línea de los ápsides* al eje mayor de la órbita aparente del Sol en el movimiento de traslación anual.

Observación. — De acuerdo con una propiedad de los ejes de una elipse resulta que:

La línea de los ápsides es eje de simetría de la órbita solar.

Definición. — Se dice que el Sol está en *apogeo* o *perigeo* según que su distancia a la Tierra sea máxima o mínima, respectivamente. Como el foco de una elipse no coincide con el centro de la misma, resulta, por una propiedad de dicha curva, que el Sol cuando está

$C_{(F, \overline{AM})}$, y con centro F′ y radio $\overline{MB}$ la $C_{(F', \overline{BM})}$ dichas circunferencias se cortan en los puntos P y P′ (P′ no está marcado en la figura) que pertenecen a la elipse, puesto que por construcción:



$$\overline{PF} + \overline{PF'} = \overline{AM} + \overline{MB} = \overline{AB}$$

Otro método para dibujar una elipse es el siguiente: se toma un hilo de longitud igual al eje mayor de la elipse y se fijan sus extremidades en los focos. Se estira el hilo con la punta de un lápiz y se lo mueve de manera que las dos porciones de hilo queden tensas. En este movimiento el lápiz ha dibujado una elipse, puesto que para cualquier posición del mismo la suma de las distancias de su punta a los focos es igual a la longitud total del hilo o sea al eje mayor.

La cuerda de la elipse perpendicular al eje mayor de la misma en su punto medio se llama *eje menor*, y la distancia entre los focos *distancia focal*.

De la observación de la figura se deduce que si se conocen los ejes de una elipse pueden determinarse sus focos como intersección del eje mayor con la circunferencia que tenga por centro uno de los extremos del eje menor y por radio el semi-eje mayor.

Se llama *excentricidad* de una elipse a la razón entre la distancia focal y el eje mayor.

En símbolos: $\quad \textit{Excentricidad} = \dfrac{\overline{FF'}}{\overline{AB}} = \dfrac{2\,c}{2\,a} = \dfrac{c}{a}.$

en apogeo o perigeo coincide con los extremos de la línea de los ápsides.

Nota. — *La línea de los ápsides no coincide con la línea de los solsticios.*

En efecto: Si esa coincidencia se verificara, el día de los solsticios debería tener el Sol semidiámetro mínimo o máximo (pues las distancias del Sol a la Tierra son inversamente proporcionales a los semidiámetros) y en cambio eso sucede unos 11 días después, por lo que la línea de los ápsides forma con la de los solsticios un ángulo de 11° aproximadamente.

73. **Año sideral, año trópico y año civil.** — Definición I. — Se llama *año sideral* al intervalo de tiempo transcurrido para que la longitud del Sol varíe de 0° a 360°.

Mediante mediciones muy precisas se ha determinado que la duración del año sidereo es de 365,25636... días medios $\cong$ 365 días 06 h 09 min 09 seg.

Definición II. — Se llama *año trópico* al intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el punto Vernal en su movimiento de traslación alrededor de la Tierra.

Habíamos dicho (nº 36) que el punto Vernal no permanecía fijo en la esfera celeste, sino que se movía en sentido retrógrado (contrario al de Sol sobre la Eclíptica) recorriendo un arco de 50'',26 por año, y como el tiempo que emplea el Sol en recorrerlo es 20 min 23 seg, resulta que el año trópico es 20 min 23 seg más corto que el año sidereo. Luego su duración es:

Año trópico = 365,2422... días medios = 365 días 05 h 48 min 46 seg

Como se ha tomado como origen para el año trópico el instante del pasaje del Sol por un equinoccio, resulta que rigiéndose por este año el comienzo de las estaciones tendría lugar en la misma fecha lo que es muy importante para las tareas agrícolas y demás actividades humanas. Sin embargo, como no está compuesto de un número entero de días no se emplea directamente en la vida práctica sino que se lo reemplaza por el llamado *año civil*, formado por un número entero de días, y arreglado de tal manera que las estaciones comiencen siempre en la misma fecha. Ese año se define así:

Definición III. — Se llama *año civil* al intervalo de tiempo necesario para que transcurran 365 días medios consecutivos.

74. **Calendario.** — Definición. — Se llama *calendario* al conjunto de reglas y convenios adoptados para conseguir la coincidencia del año civil con el año trópico.

Tomaremos como valor del año trópico el de 365,2420 días y escribiremos la fracción 0,2420 días en la siguiente forma:

$$0{,}2420 = 0{,}25 - 0{,}0080$$

$$= 0{,}25 - 0{,}0075 - 0{,}0005 = \frac{1}{4} - \frac{3}{400} - \frac{5}{10000}$$

luego $$\textit{Año trópico} = 365 \text{ d} + \frac{1}{4}\, d - \frac{3}{400}\, d - \frac{1}{2000}\, d.$$

Como de acuerdo con el Calendario Egipcio la duración del año civil era de 365 días, divididos en 12 meses, se despreciaba anualmente una fracción de $\frac{1}{4}$ día aproximadamente, lo que traía como consecuencia que cada 4 años el año civil estaba atrasado de un día respecto del trópico.

La acumulación de estos atrasos habían llegado en tiempo de Julio César, año 43 A. J. C., a sumar 80 días, lo que había llevado a una total discordancia entre el Calendario y la vida real.

75. **Reforma Juliana.** — Para anular ese atraso dicho emperador ordenó que se aumentara la fecha en esos 80 días y para que el atraso de un día cada cuatro años no se repitiera, que se agregara un día cada cuatro años, intercalado en el mes de Febrero. Esta corrección se conoce con el nombre de *Reforma Juliana* y equivale a aceptar como duración del año civil la de 365 $\frac{1}{4}$ días.

76. **Reforma Gregoriana.** — Como de acuerdo con la Reforma Juliana el año civil constaba de $365 \frac{1}{4}$ días, el error que se cometía por exceso anualmente era de $\frac{3}{400}$ día, lo que traía como consecuencia que cada 400 años el año civil estaba adelantado de 3 días respecto del trópico.

La acumulación de estos adelantos había llegado en tiempo del Papa Gregorio XIII, en el año 1582 de nuestra era, a sumar aproximadamente 10 días, con los contratiempos consiguientes.

Para anular este adelanto dicho Papa ordenó que se atrasara la fecha de esos 10 días y para que el adelanto de 3 días cada 400 años no se repitiera, que fueran años comunes 3 bisiestos cada 400 años.

Prácticamente para suprimirlos se dispuso que fueran años comunes aquellos años seculares cuyo número de centenas no fuera múltiplo de 4. Así, por ejemplo, de los años seculares 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, etc., sólo será bisiesto el año 2000 puesto que $20 = \dot{4}$.

Esta corrección se conoce con el nombre de *Reforma Gregoriana*, e importa aceptar como duración del año la de $365 + \frac{1}{4} - \frac{3}{400}$ días.

Observación. — Conviene hacer notar que siendo la duración del año trópico de $365 + \frac{1}{4} - \frac{3}{400} - \frac{1}{2000}$ días al aceptar como duración del año civil la de $365 + \frac{1}{4} - \frac{3}{400}$ días se comete un error por exceso de $\frac{1}{2000}$ de día, lo que traerá un adelanto del año civil sobre el trópico de 1 día cada 2000 años. Podría remediarse este error suprimiendo un año bisiesto cada 2000. años

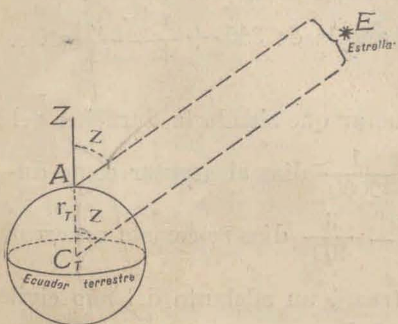
CAPITULO X

EL SOL

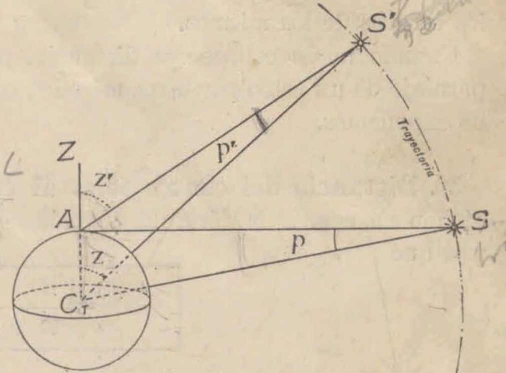
PROGRAMA. — *La paralaje del Sol. Distancia del centro solar al centro de la Tierra. Rotación del globo solar. Radio y volumen del Sol. Las manchas. Constitución física. Las protuberancias.*

79. **Paralaje del Sol.** — Con el objeto de poder relacionar las observaciones hechas en diversos puntos de la Tierra se las refiere al centro de la misma.

Cuando los astros observados son estrellas, no es necesario hacer esa referencia al centro de la Tierra, pues siendo el radio de ésta despreciable en comparación con la distancia de su centro a las mismas, los rayos visuales dirigidos a una de ellas desde un punto A de la superficie y desde el centro C_T de la misma serían paralelas, y por lo tanto las distancias cenitales z esultan iguales.



Si en cambio el astro es el Sol, la Luna, los planetas o cualquier otro astro del sistema solar, al referir las observaciones de sus distancias cenitales al centro de la Tierra, éstas resultan diferentes a las observadas en su superficie, pues no siendo el radio terrestre despreciable en comparación con la distancia entre ambos, los rayos visuales dirigidos al astro desde un punto A de la superficie terrestre y desde el centro C_T de la misma, no serían paralelos, y quedaría formado un triángulo SAC_T en el cual el ángulo ASC_T se llama *paralaje,* y se define así:

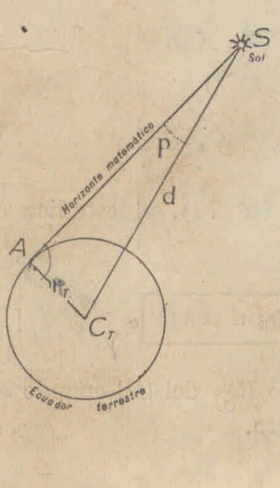


DEFINICIÓN. — Se llama *paralaje* de un astro del sistema solar al ángulo bajo el cual se ve el radio de la Tierra desde el centro del mismo. Cuando el astro está arriba del horizonte del lugar la paralaje se llama de *altura* y cuando está en el horizonte *paralaje horizontal.*

Como los radios de la Tierra no son todos iguales a causa del achatamiento polar, la paralaje horizontal de un astro varía con el lugar de observación. Como esa variación de la paralaje no es muy grande se conviene en tomar la correspondiente al radio medio del Ecuador terrestre y se la conoce con el nombre de *paraje horizontal ecuatorial media.*

NOTACIÓN. — La paralaje se designa siempre con *p*.

Siendo paralelos los rayos visuales dirigidos a una estrella desde un punto de la superficie de la Tierra y desde su centro resulta que: *La paralaje de una estrella es nula.*



CÁLCULO DE LA PARALAJE. — Sea A un punto del Ecuador terrestre, C_T el centro de la Tierra, S la posición en el horizonte de A de un astro del sistema solar.

Luego en el triángulo rectángulo SAC_T se tiene:

$$\operatorname{sen} \hat{S} = \frac{\overline{AC_T}}{\overline{SC_T}} \quad \text{o sea} \quad \boxed{\operatorname{sen} p = \frac{R_{\oplus}}{d}}$$

Esta fórmula permite calcular la paralaje horizontal de un astro cuando se conoce el radio $R_{\oplus}$ de la Tierra y la distancia entre los centros de los mismos.

Cuando no se conoce esa distancia, puede también calcularse la paralaje de un astro por otros métodos, que por razones de brevedad, no exponemos.

80. **Distancia del centro solar al centro de la Tierra.** — Teniendo en cuenta la fórmula deducida en el párrafo anterior sacamos que

$$\boxed{d = \frac{R_{\oplus}}{\operatorname{sen} p}}$$

Esta fórmula permite calcular la distancia del centro de la Tierra al centro de un astro del sistema solar.

Si dicho astro es el Sol es $p = 8'',8$ (« *C. des T.* ») y como el radio ecuatorial medio de la Tierra es $R_{\oplus} = 6371$ Km, tendríamos:

$$d = \frac{6371 \text{ Km}}{\operatorname{sen} 8'',8} \cong \frac{6371 \text{ Km}}{8'',8}$$

y expresando el valor del arco en radianes resulta

$$8'',8 = \frac{8,8 \times 2\pi}{1296000} \cong \frac{1}{23400}$$

luego $$d = \frac{6371 \text{ Km}}{\dfrac{1}{23400}} = 23400 \times 6371 \text{ Km}.$$

$$d = 149\,081\,400 \text{ Km} \cong 150\,000\,000 \text{ Km}.$$

81. **Radio del Sol.** — Habíamos visto (nº 70), al estudiar el semidiámetro del Sol que

$$\operatorname{sen} \delta = \frac{R_{\odot}}{d} \quad \text{luego} \quad \boxed{R_{\odot} = d \operatorname{sen} \delta} \qquad [1]$$

Esta fórmula nos permite calcular el radio $R_{\odot}$ del Sol cuando se conoce el semidiámetro y el radio de la Tierra.

Como $d \simeq 150\,000\,000$ Km y el valor máximo de δ para el año 1931 es $\delta = 16'17'',55$ siendo este arco pequeño podemos poner en lugar de su seno la medida del arco en radianes, que es 0,0047 y tendríamos:

$$R_{\odot} = 150\,000\,000 \text{ Km} \times 0{,}0047 \cong 700\,000 \text{ Km.}$$

En la fórmula [1] si se reemplaza el valor de d en función del radio terrestre y de la paralaje se tiene que como

$$d = \frac{R_{♁}}{\text{sen } p} \quad \text{es} \quad R_{\odot} = \frac{R_{♁} \text{ sen } \delta}{\text{sen } p}$$

pero $\dfrac{\text{sen } \delta}{\text{sen } p} \cong 110$ resulta $\boxed{R_{\odot} \cong 110\ R_{♁}}$ vale decir:

El radio del Sol es aproximadamente, 110 *veces mayor que el de la Tierra.*

82. **Volumen del Sol.** — Recordemos que el volumen de una esfera de radio r se encuentra mediante la fórmula $V = \frac{4}{3} \pi r^3$.

Designando con $V_{\odot}$ el volumen del Sol, con $V_{♁}$ al de la Tierra y con $R_{\odot}$ y $R_{♁}$ los radios del Sol y de la Tierra respectivamente, se tiene:

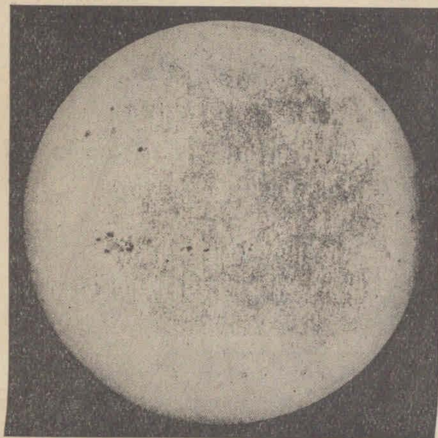
$$\frac{V_{\odot}}{V_{♁}} = \frac{{}^4/_3\, \pi\, R^3_{\odot}}{{}^4/_3\, \pi\, R^3_{♁}} = \frac{R^3_{\odot}}{R^3_{♁}} = \left(\frac{R_{\odot}}{R_{♁}}\right)^3$$

luego $V_{\odot} = \left(\dfrac{R_{\odot}}{R_{♁}}\right)^3 \times V_{♁}$ y como $\dfrac{R_{\odot}}{R_{♁}} \cong 110$

resulta $\boxed{V_{\odot} \cong 110^3\, V_{♁} \cong 1\,300\,000\ V_{♁}}$ lo que nos dice que:

El volumen del Sol es aproximadamente 1 300 000 *veces mayor que el de la Tierra.*

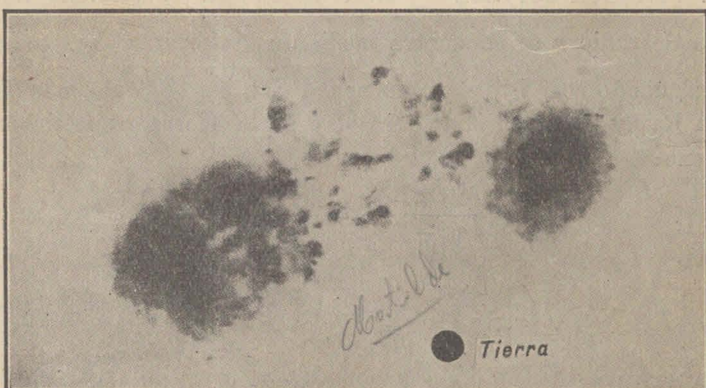
83. **Las manchas solares: Constitución Física.**— La observación del Sol con ayuda de un telescopio provisto de un ocular ahumado nos muestra en ciertas épocas manchas obscuras. Se acepta que su descubrimiento fué hecho por el jesuita Scheiner en Alemania y más tarde por Fabricius en Holanda y Galileo en Italia.



Fotografía directa del Sol tomada en Agosto de 1917. Observatorio de Monte Wilson.

Sin embargo parece ser que en las Crónicas de los Chinos 300 a 1200 A. J. C. se citan las manchas solares es decir, antes de la invención de los anteojos astronómicos.

La observación telescópica permite distinguir en esas manchas una parte central llamada *la sombra,* de color negro azaba-



Mancha solar fotografiada en Agosto de 1916. Obs. Monte Wilson

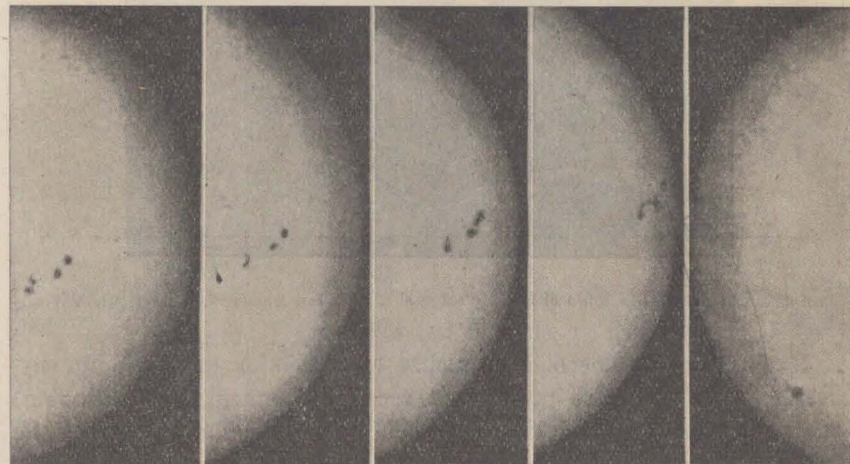
che, de bordes irregulares y rodeada por un anillo grisáceo, la *penumbra.*

El tamaño de la sombra varía de 1000 Km a 100 000 Km, o sea más de 7 veces el diámetro de la Tierra.

Ana María - buena tierra /
Las tierra, desgraciado -

La observación de dichas manchas nos muestra que están animadas de un movimiento de E a O a través del disco solar, suficientemente rápido como para ponerse en evidencia en un día.

Si se suponen fijas las manchas con respecto al Sol, su movimiento se explica admitiendo que el globo solar gira alrededor de uno de sus ejes.



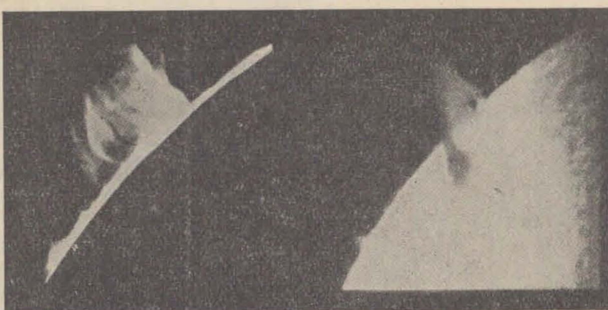
Movimiento de las manchas solares. Fotografías tomadas los días 4, 5, 6, 7 y 24 de Setiembre de 1920 (*El Firmamento*, J. Rodes)

Estudios muy precisos, efectuados durante muchos años, han llevado a determinar que el Ecuador Solar forma con el plano de la Eclíptica un ángulo de 7°.

Por otra parte, se ha comprobado que la duración de las rotaciones de las manchas no es la misma para todas, pues mientras las que están cerca del Ecuador emplean 25 días en cumplir una rotación completa, las que están más cerca de los polos necesitan 30 días para efectuar el mismo movimiento.

La desigualdad de estas duraciones se explica por la constitución gaseosa del Sol, la que ha sido ampliamente probada como veremos más adelante al hablar de la constitución física del mismo.

En general las manchas solares tienen corta vida, pues muchas de ellas solo pueden ser vistas durante un día. Hay otras, en cambio, que alcanzan a dar una o varias vueltas alrededor del eje del Sol, como sucedió con una observada en el año 1840, de la que se contaron diez y ocho revoluciones, lo cual significa que duró cerca de un año y medio.



Protuberancia proyectada sobre el borde y sobre el disco solar. Observatorio de Monte Wilson.

Respecto del número de manchas cabe señalar que es muy variable, pues el Sol se presenta a veces sin manchas y en cambio otras con gran número de ellas, siendo periódicos estos sucesos.

Esos períodos son llamados *undecenales*, pues se repiten cada once años. El último período de gran número de manchas se registró en el año 1929.

La presencia de las manchas solares se explica así: se admite que grandes cilindros de gases calientes surgen del interior del Sol animados de una enorme velocidad de rotación. Al llegar a la periferia, donde la presión es menor, los gases del cilindro se expanden, enfriándose, por lo que disminuye su brillo y por eso el observador terrestre los ve como manchas negras por contraste con el fondo brillante que rodea a esos gases enfriados.

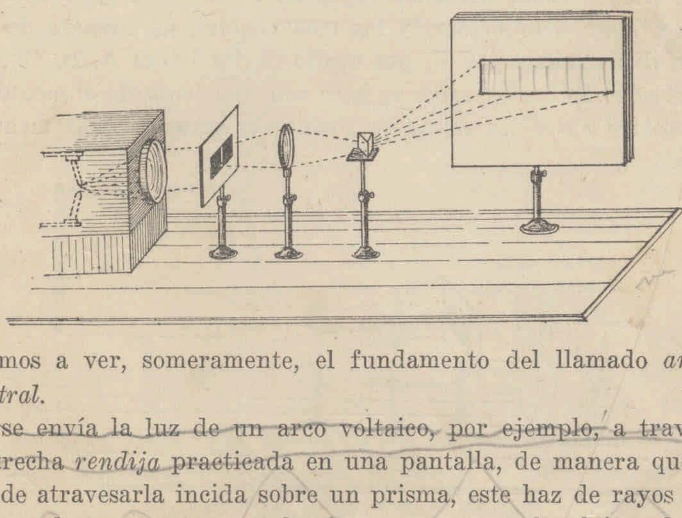
Las grandes perturbaciones de la aguja magnética y las apariciones de las *auroras boreales* observadas en la Tierra, coinciden con las épocas en que el Sol presenta gran número de manchas o manchas muy grandes y éstas pasan por el centro del disco solar.

Estos hechos se explican con la hipótesis de ser cada mancha un enorme imán cuyo campo puede alcanzar a la Tierra no obstante estar separada del Sol 150 000 000 Km.

Esta hipótesis está corroborada por el gran número de observaciones hechas desde hace muchos años, que han permitido establecer leyes respecto de su aparición y posición sobre el globo solar, polaridad magnética, desarrollo de la actividad solar, etc. Se ha distinguido particularmente en este estudio el astrónomo doctor Hales que efectuó sus trabajos en el Observatorio de Monte Wilson.

84. **Constitución del Sol.** — El estudio de la naturaleza del Sol ha podido llevarse a cabo con gran éxito, gracias al empleo de un aparato llamado *espectroscopio,* el cual, como su nombre lo indica, permite analizar los *espectros* de luz, que como se ha estudiado en Física, son las bandas coloreadas que se obtienen por la descomposición de un haz de luz al pasar a través de un prisma.

Existiendo una íntima relación entre los espectros de la luz emitida por una sustancia, su composición química y estado físico, se ha podido descubrir, al analizar la luz del Sol y de las estrellas, las sustancias que los componen y los estados en que se encuentran en esos astros.

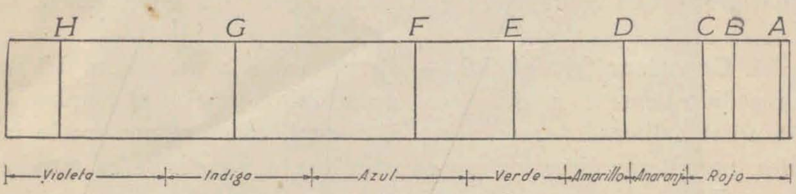


Vamos a ver, someramente, el fundamento del llamado *análisis espectral.*

~~Si se envía la luz de un arco voltaico, por ejemplo, a través de la estrecha *rendija* practicada en una~~ pantalla, de manera que después de atravesarla incida sobre un prisma, este haz de rayos luminosos es descompuesto por el mismo en una ancha faja coloreada desde el rojo al violeta, que se pone de manifiesto sobre una pantalla convenientemente colocada. Esa faja coloreada es lo que se llama *espectro de difracción* o *espectro normal.*

Cuando la fuente luminosa es, como en este caso, un arco voltaico, el espectro de la luz que emite presenta toda la gama de colores desde el rojo al violeta en el siguiente orden:

Rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo, violeta, y como el paso de un color a otro se presenta sin solución de continuidad, aun

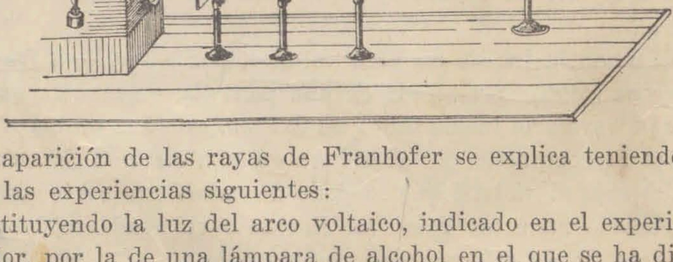


Esquema del espectro solar indicando las 8 rayas de Franhofer

cuando se observe el espectro con un gran aumento, se dice que se trata de un *espectro continuo.*

Si se examina, en cambio, el espectro de la luz solar; se encuentra la parte coloreada del mismo surcada por finas rayas negras visibles a simple vista, llamadas *rayas de Franhofer,* pues éste es el nombre de su descubridor, y las más visibles, en número de ocho, fueron distinguidas por él, por medio de las letras A, B, C, ... H.

Si el examen del espectro se hace con una lente de aumento pueden notarse entre las rayas de Franhofer otras muchas menos intensas.



La aparición de las rayas de Franhofer se explica teniendo presente las experiencias siguientes:

Sustituyendo la luz del arco voltaico, indicado en el experimento anterior, por la de una lámpara de alcohol en el que se ha disuelto

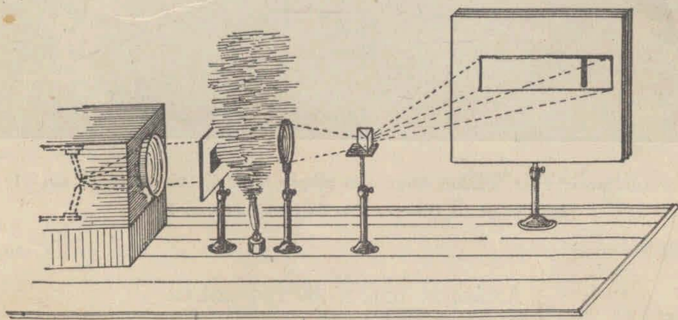
ClNa (sal común), se observa en el espectro de esa luz, una raya amarilla brillante que ocupa el lugar de este color en el *espectro normal,* siendo el resto casi imperceptible.

Si en lugar de disolver sodio en el alcohol, se emplea otra sustancia soluble en el mismo, *litio* por ejemplo y se repite la experiencia, el espectro que se obtiene es distinto del anterior, pues presenta una raya roja muy viva.

Numerosas experiencias han permitido expresar este resultado como una:

LEY. — *Cada sustancia en estado gaseoso* (si la presión no es extraordinariamente grande) *emite al arder una luz cuyo espectro es característico de la misma y permite distinguirla de todas las demás por grande que sea la distancia a que se halle.*

Si se hace pasar por la rendija del espectroscopio, como en la primera experiencia, la luz del arco voltaico y delante de la pantalla se coloca la lámpara de alcohol con cloruro de sodio, en forma



tal que los gases de la combustión sean atravesados por el haz de luz que sale de la rendija, aparece, en el espectro de esa luz, en lugar de la raya amarilla característica del sodio una raya negra. Retirando la lámpara reaparece la raya amarilla brillante del sodio, lo que prueba que ella había sido *absorbida* por el vapor de sodio de la llama.

Numerosas experiencias han permitido expresar el resultado señalado en el ejemplo anterior, con carácter de ley, en la siguiente forma:

Segunda Ley. — *Cada elemento en estado gaseoso* (si la presión no es extraordinaria) *absorbe al arder, si se halla en el trayecto de otro foco a mayor temperatura, las mismas rayas que él es capaz de emitir.*

Las leyes anteriores se completan con la siguiente:

Tercera Ley. — *Los elementos en estado líquido, sólido y también gaseoso si la presión es muy grande, emiten al arder una luz cuyo espectro es continuo.*

La gran protuberancia solar tomada durante el eclipse total del 29 de Mayo de 1919 por la expedición del Observatario de Greenwich en Brasil.

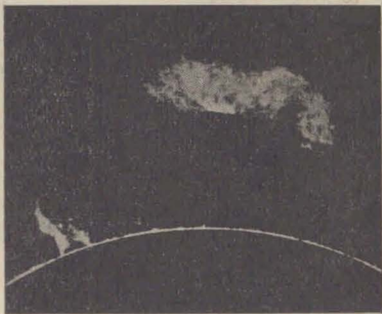
Análisis del espectro solar

Habíamos dicho que el espectro de la luz solar era un espectro coloreado surcado por las rayas negras de Franhofer. Esto nos dice que la luz solar es emitida por una masa líquida, sólida o gaseosa llamada *fotoesfera* (esfera de luz) sometida a elevada presión, desde que esa masa daría un espectro continuo, rodeada por otras capas gaseosas de más baja temperatura y presión, que son las que originan, por absorción, las rayas negras del espectro solar.

Como estas últimas rayas permiten caracterizar los cuerpos que las absorben, podemos afirmar que la segunda capa o *atmósfera solar* contiene la mayor parte de las sustancias que se encuentran en la Tierra y especialmente hidrógeno, oxígeno, hierro, calcio, helio (*), etc.

En los eclipses de Sol, la fotoesfera queda tapada por el disco opaco de la Luna, habiéndose observado que la atmósfera solar está compuesta, de adentro hacia afuera, por las siguientes capas: primero la *capa reversible* formada especialmente por vapores de hierro, sodio y calcio con un espesor de a 4 a 5 mil kilómetros; segundo la *cromoesfera* de la cual surgen enormes llamas de hidrógeno de color carmesí, llamadas *protuberancias*, que alcanzan alturas de varios cientos de miles de kilómetros.

Las protuberancias se ven solamente en los eclipses de Sol, y bajo la forma de llamas que rodean al disco de sombra, pues en tiempos normales el brillo del Sol no permite su observación directa, desde que la luz de las protuberancias es más débil que la de la fotoesfera.



Fotografía tomada de *El Firmamento* de J. Rodés

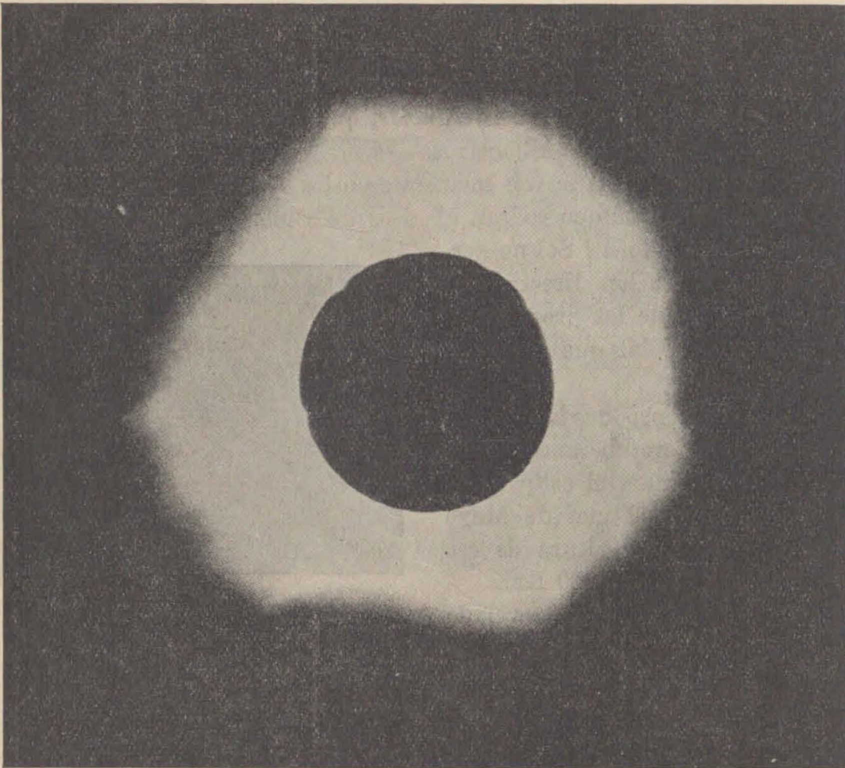
La figura reproduce la fotografía de una protuberancia solar observada durante el eclipse que tuvo lugar en el mes de Mayo del año 1929. La altura de esa llama alcanzó a 180 000 Km.

El espectroscopio ha revelado también que los gases que constituyen a la cromoesfera, se encuentran sometidos a presiones bajísimas comparadas con la presión atmosférica.

A esa conclusión se ha llegado después de prolijas investigaciones hechas en los laboratorios, que demuestran que la *presión* a que están sometidos los vapores que arden, tiene gran influencia sobre ciertas rayas del espectro de la luz que emiten.

(*) Respecto del *helio* debemos decir que su nombre proviene del hecho que fué descubierto en el Sol (en 1868 por Lockyer) antes que en la Tierra (en el año 1881 en las emanaciones del Vesubio por L. Palmieri) y gracias al empleo del espectroscopio, pues en el espectro solar aparecía una raya que no figuraba en ninguno de los espectros de los elementos conocidos, en esa época, por lo que se supuso era debida a una sustancia que se encontraba solamente en el Sol.

Análogamente el estudio del espectro solar nos ha informado respecto de la *temperatura* de la atmósfera del Sol, pues los físicos han calculado que los cuerpos dan espectros más o menos coloreados según la temperatura a que se encuentren.



La corona solar tomada durante el eclipse del 29 de Junio de 1927 por la expedición del Observatorio de Hamburg.

En base a esos estudios se le atribuye a la superficie del Sol una temperatura de 6000° (*).

Después de la cromoesfera se encuentra una capa gaseosa más

(*) Se han distinguido en estos estudios el astrónomo Wilsin del Observatorio de Potsdam y la Institución Smithsoniana.

enrarecida, llamada *corona* que se extiende a gran distancia del núcleo solar, pudiendo llegar a 3 000 000 de kilómetros y que fácilmente es observable durante los eclipses. La forma de la corona es variable con los períodos de actividad solar.

El espectro de la corona presenta rayas negras análogas a las del de la cromoesfera, y además una raya verde característica de un gas que se llamó *coronio* y del cual nos volveremos a ocupar al hablar de los eclipses.

Dibujo de L. Rudaux «*Le Ciel*»

Más allá de la corona se extiende todavía otra envoltura gaseosa, más tenue aún, llamada *luz zodiacal* que se observa en los atardeceres sin Luna como una débil luz crepuscular. Ofrece el aspecto de una lenteja, situada en el plano de la eclíptica, y se la supone producida por la luz solar al reflejarse en las pequeñas partículas de *materia cósmica* que llenan los espacios interplanetarios.

Ad ogni uomini la sua donna è molto bello.-

¡Cómo habla en difícil este ~~tipo~~ poti!

(Que le recontra por las dudas)

CAPITULO XI

FORMA DE LA TIERRA

PROGRAMA. — *Forma de la Tierra. Medida del radio terrestre. Notas históricas. Determinación de la longitud y latitud geográficas. Mapas geográficos. Algunas de las proyecciones más importantes.*

Forma de la tierra. — Las mediciones hechas con el objeto de determinar la forma actual de la Tierra, han llevado a la conclusión de que no existe ningún cuerpo geométrico cuya forma sea igual a la de la Tierra.

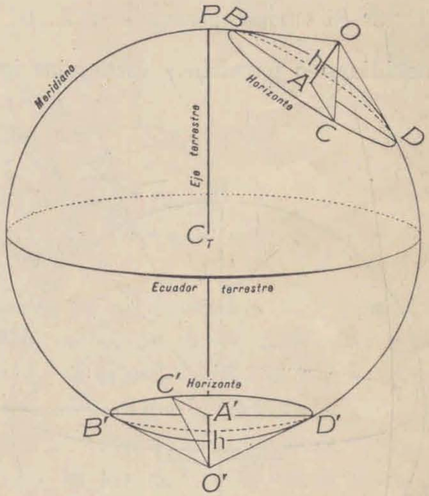
Teniendo en cuenta que los picos más altos del Himalaya y del Kara Korun, son de casi 9000 m de altura, y que las depresiones más profundas que se han registrado en el Océano Atlántico Austral, en los alrededores de las Islas Sandwich son de unos 10 000 m, según los sondeos hechos desde el barco alemán Meteor, y de 9780 m en el Océano Pacífico, en las cercanías de las Islas Marianas; resultan insignificantes en comparación con el tamaño de la Tierra, cuando se hable de su forma, sobreentenderemos que se hace abstracción de su relieve superficial.

LA ESFERA COMO PRIMERA APROXIMACIÓN DE LA FORMA DE LA TIERRA. — Como primera aproximación, se puede considerar a la Tierra como una esfera. Esto es sólo una aproximación, pues de ser una esfera todos sus radios serían iguales, en cambio las mediciones efectuadas con el objeto de determinar esos radios han dado valores que difieren a partir de la tercera cifra. Por ejemplo Hayford en 1909 obtuvo los siguientes valores:

Radio ecuatorial = 6 378 388 m $\cong$ 6380 Km

Radio polar . . = 6 356 909 m $\cong$ 6360 »

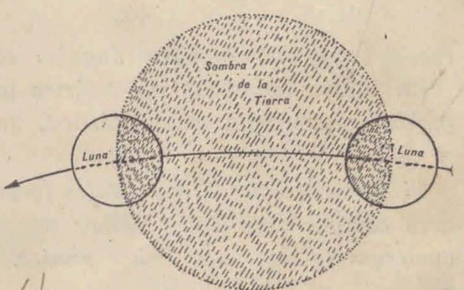
De acuerdo con estas cifras resulta que, si se construye una esfera material de 638 mm de radio, el radio polar resultaría solamente 2 mm menor que el ecuatorial, y los accidentes más notables de la corteza terrestre tendrían que ser representados en ella por elevaciones o hendiduras de 1 mm, que se confundirían con las asperezas del material empleado para fabricar la esfera.



Hay muchos hechos que conducen a aceptar que la Tierra es esférica (dentro de la aproximación señalada anteriormente), por ejemplo, los que damos a continuación:

1º En las grandes llanuras, y en el mar donde es posible abarcar todo el horizonte, éste siempre es *circular* y dicha forma se conserva si el observador se eleva a cualquier altura (en un aeroplano por ejemplo).

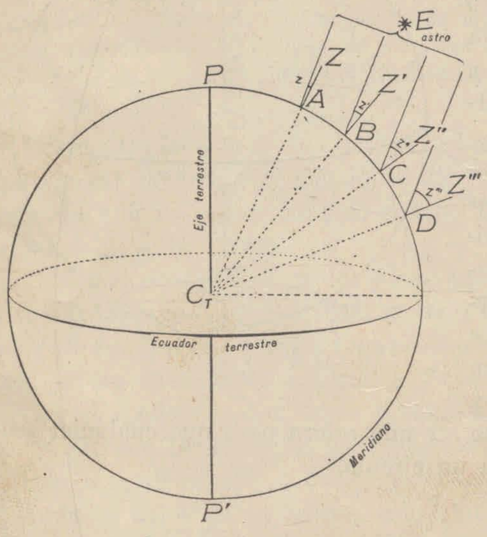
Luego la Tierra tiene que ser una esfera para que cualquier sección plana de la misma sea un círculo.



2º Los eclipses de Luna, que, como veremos más adelante, son producidos por la sombra que proyecta la Tierra sobre la Luna al interponerse entre ésta y el Sol, puede observarse, a veces nítidamente, que dicha sombra tiene un perfil circular como en el caso de la fotografía de la página anterior.

Como ese perfil se conserva no obstante girar la Tierra alrededor de su eje, ésta debe ser esférica porque la esfera es el único cuerpo cuyo perfil es circular al girar.

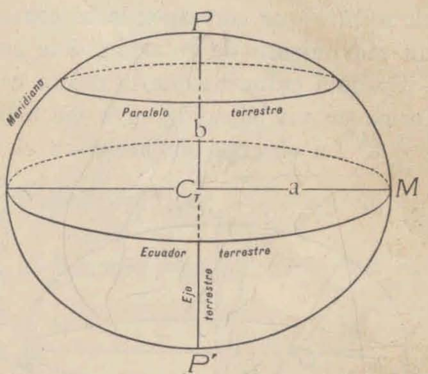
3º Si varios observadores A, B, C y D situados sobre un mismo meridiano o paralelo a distancias iguales, $\overset{\frown}{AB} = \overset{\frown}{BC} = \overset{\frown}{CD}$ visan simultáneamente una misma estrella, comprueban que las distancias cenitales z, z', z'', z''' de la misma, aumentan de un observador a otro de cantidades iguales, y como el incremento de una distancia cenital a la anterior es igual al ángulo que forman las verticales de los puntos de observación, o sea los ángulos centrales correspondientes a los arcos $\overset{\frown}{AB}$, $\overset{\frown}{BC}$ y $\overset{\frown}{CD}$ comprendidos entre dichos puntos, resulta: *Que a arcos iguales corresponden ángulos centrales también iguales.*



La Tierra tiene que ser esférica para que en cada meridiano o paralelo se cumpla esa propiedad, que puede también interpretarse así:

Si las verticales de dos puntos forman un ángulo de un grado, el arco comprendido entre dichos puntos tiene la misma longitud cualesquiera que sean dichos puntos.

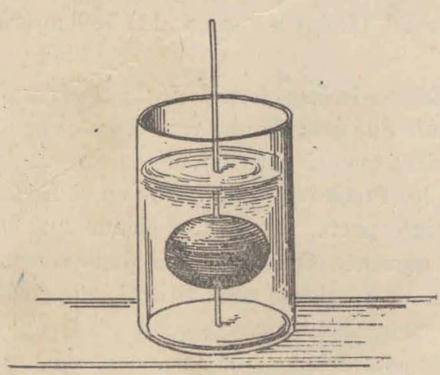
El elipsoide como segunda aproximación de la forma de la Tierra. — Como segunda aproximación, es decir, con menor error respecto de la verdadera forma de la Tierra, se considera a ésta como un *elipsoide de revolución*. Se llama así al cuerpo engendrado por la rotación de una elipse alrededor de uno de sus ejes (el eje menor en el caso de la Tierra). De acuerdo con esto el eje del mundo es el *eje menor* del elipsoide, el Ecuador es engendrado por el *eje mayor*, los *meridianos* son elipses y los *paralelos* son circunferencias.



Esta interpretación está de acuerdo con las medidas de los radios ecuatorial y polar que, habíamos dicho, eran distintas, y con los siguientes hechos:

1º Como la Tierra está animada de un movimiento de rotación alrededor de su eje, cuya velocidad lineal es de 28 Km/min en el Ecuador, sobre todos los puntos de la misma actúa la fuerza centrífuga, que como sabemos, es proporcional a la distancia de los mismos al eje de rotación y tiende a alejarlos de dicho eje.

Como de acuerdo con la Geología, la Tierra fué en sus comienzos una masa fluída animada de un movimiento de rotación, la fuerza centrífuga que es nula en los Polos (por ser nula su distancia al eje) y máxima en el Ecuador (por ser máxima la distancia al eje) produjo un achatamiento en los Polos y un hinchamiento en el Ecuador. Nos aproximamos, pues, más a la verdadera forma de la Tierra considerándola como elipsoide que como una esfera.



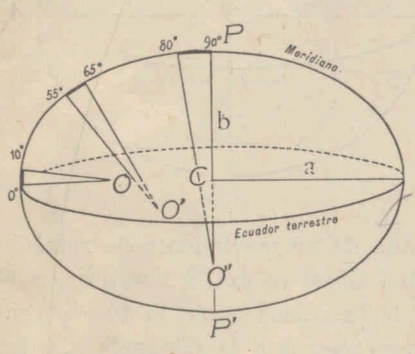
Una experiencia de laboratorio ideada por el físico Plateau, reproduce el hecho que acabamos de describir

Si en el interior de un vaso lleno de agua y de alcohol se coloca una pequeña cantidad de aceite, ésta toma la forma de una esfera cuando la mezcla anterior tiene la misma densidad que el aceite.

Si se atraviesa a esa esfera por una varilla que tenga un ensanchamiento que corresponda al centro de la esfera, y se le imprime un movimiento de rotación, éste se comunicará al aceite.

Se nota entonces que la esfera comienza a aplanarse, y se transforma en un elipsoide cuyo eje menor coincide con el de rotación.

2º La observación hecha en el ejemplo 3º del párrafo anterior no es rigurosamente exacta, pues midiendo cuidadosamente los arcos comprendidos entre dos puntos de un mismo meridiano cuyas verticales formen entre sí ángulos iguales, se comprueba que esos arcos son mayores en los Polos que en el Ecuador.



Así por ejemplo, la separación entre dos puntos de un meridiano situados

uno a	0° (Ecuador)	y el otro a	1°	de latitud	es de	110 564 m
» »	30°	» »	» » 31°	»	» »	110 889 m
» »	89°	» »	» » 90° (Polo)	»	» »	111 180 m (*)

Estos valores prueban que *la verdadera forma de la Tierra se aproxima más a la de un elipsoide que a la de una esfera.*

3º Se ha estudiado en Física, que el peso de un cuerpo varía con la latitud, siendo mayor en los Polos ($\varphi = 90°$) que en el Ecuador ($\varphi = 0$). Este hecho se interpreta, también, diciendo que la aceleración de la gravedad g aumenta con la latitud, vale decir, que un mismo cuerpo cae en el vacío, desde una altura dada, más rápidamente en los Polos que en el Ecuador.

Este hecho se explica teniendo en cuenta que la fuerza de gravedad es un caso particular de la atracción newtoniana. Luego si

(*) Estos valores han sido tomados de la obra *El firmamento* de Luis Rodés, S. J.

se supone un cuerpo de masa m, y llamamos M a la masa de la Tierra y la consideramos concentrada en su centro de gravedad, que coincide con el centro del elipsoide, dicho cuerpo sufre en el Polo una atracción p_P cuyo valor es de acuerdo con la ley de Newton

$$p_P = K \frac{m.M}{R_P^2}$$

siendo R_P el radio polar y K un coeficiente que se determina experimentalmente.

Ese mismo cuerpo sufriría en el Ecuador una atracción p_E cuyo valor sería

$$p_E = K \frac{m.M}{R_E^2} \quad \text{siendo } R_E \text{ el radio ecuatorial.}$$

Por otra parte dicho cuerpo está sometido a la fuerza centrífuga debida a la rotación de la Tierra, y como ella tiende a alejarlo de su centro, su valor se le resta totalmente a la atracción p_E por encontrarse el cuerpo en el Ecuador. Luego llamando p al peso de ese cuerpo acusado por un dinamómetro, tendríamos que $p = p_E - F_C$ (siendo F_C la fuerza centrífuga) luego $p_E = p + F_C$. A pesar de este aumento debido a F_C, resulta $p_P > p_E$ o sea

$$\frac{K\, m\, M}{R_P^2} > \frac{K\, m\, M}{R_E^2} \quad \text{de donde} \quad \frac{1}{R_P^2} > \frac{1}{R_E^2}$$

$$\text{o sea} \quad R_E^2 > R_P^2 \quad \text{luego} \quad R_E > R_P \quad \text{o} \quad R_P < R_E$$

lo que nos dice que el radio polar es menor que el radio ecuatorial.

Midiendo la atracción newtoniana P_φ que sufre el cuerpo de masa m en diversos lugares de la Tierra, se comprueba que ella aumenta con la latitud, de lo que se deduce como lo hemos hecho más arriba, que la distancia de esos puntos al centro disminuye a medida que ellos se acercan a los polos, lo que se explica admitiendo el aplanamiento polar, cuyo valor es según el cálculo

$e = \frac{1}{297}$ aproximadamente.

Esto nos dice que *la verdadera forma de la Tierra se aproxima más a la del elipsoide que a la de la esfera.*

Forma verdadera de la Tierra: Geoide. — El perfeccionamiento de los instrumentos y de los métodos utilizados en las mediciones efectuadas con el objeto de determinar la *forma actual de la Tierra*, consignadas en el párrafo anterior, han llevado a la conclusión de que dicha forma difiere también de la del elipsoide, cuya superficie, sin embargo, se utiliza como superficie de referencia y la llamaremos en lo sucesivo *superficie geodésica.*

La forma *real* de la Tierra, aún prescindiendo de las irregularidades de su corteza, como lo habíamos supuesto, no coincide, de acuerdo con lo expresado en los párrafos anteriores, ni con la de la esfera ni con la del elipsoide. Se ha demostrado que dicha forma no es la de ningún cuerpo geométrico, por lo tanto es necesario definirla indirectamente, dando un método que permita determinar para cada uno de sus puntos la distancia a la superficie geodésica.

La superficie así determinada se llama *geoide* y se define así:

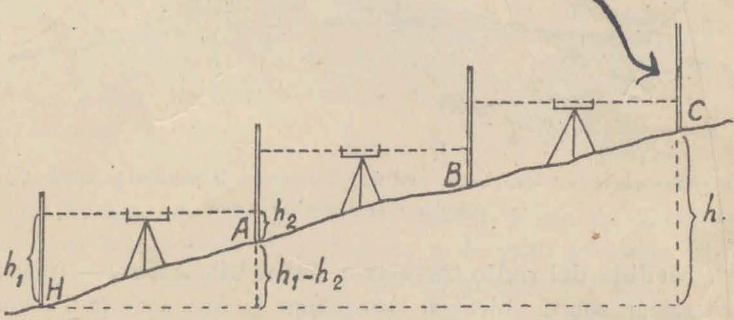
Definición. — Se llama *geoide* o *superficie geoídica* a la figura formada por la superficie de los mares en equilibrio supuestos extendidos a través de los continentes.

Esta definición, que es la más corriente, encierra la condición de que la vertical de cada punto del geoide (materializada por el hilo de la plomada en equilibrio) sea perpendicular a dicha superficie, lo que equivale a definirla de acuerdo con la ley fundamental de la hidrostática.

Se entiende por superficie de los mares en equilibrio o, como suele decirse, por *nivel del mar* en un lugar determinado, al promedio de los niveles que alcanzan los océanos al cabo de un cierto tiempo en ese lugar. De acuerdo con esto y la definición de geoide, resulta que decir que un punto de la superficie terrestre se encuentra a *h metros sobre el nivel del mar,* significa decir que dicho punto es exterior al geoide y dista *h* metros de su superficie.

Las distancias de los puntos de la superficie terrestre al geoide, o sea sus alturas o depresiones con respecto al nivel del mar, se determinan mediante una operación llamada *nivelación,* que explicamos a continuación.

Supongamos que se conozca el nivel del mar en el punto H y que se desee determinar la altura de otro punto C con respecto a

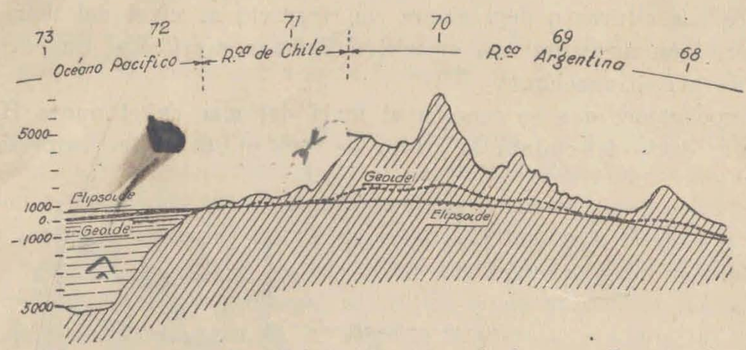


ese nivel. Para ello se hace uso de un instrumento llamado nivel, por ejemplo el *nivel de agua* estudiado en Física que es una aplicación del principio de los vasos comunicantes, o de *niveles geodésicos* que son niveles de burbuja de gran precisión, y se procede en la forma siguiente:

Se coloca el nivel entre los puntos H y A situados a una distancia tal que desde él se vean claramente las graduaciones de las reglas (*miras*) colocadas en esos puntos. Si llamamos h_1 a la lectura hecha en la mira situada en H y h_2 la efectuada en la de A, tenemos que $h_1 - h_2$ nos da el desnivel existente entre A y H. Procediendo en esta forma se puede encontrar el desnivel h existente entre el punto H y el C.

De aquí se deduce que si se efectúa la nivelación de todo un territorio, queda perfectamente determinada la parte de geoide correspondiente al mismo. De esta manera se ha llegado a la conclusión de que el geoide se aparta muy poco del elipsoide, pues según F. R. Helmert la separación máxima no excede los 100 metros (otros autores admiten diferencias hasta de 400 metros).

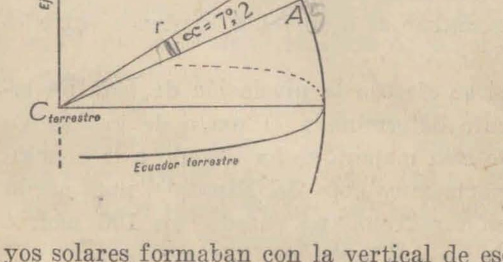
La figura adjunta muestra la parte del geoide correspondiente a un corte efectuado en la latitud de Buenos Aires y sus diferencias con el elipsoide.



Corte vértico-transversal ideal, mostrando muy aumentada, la separación entre el geoide, el elipsoide y el relieve del suelo.

88. **Medida del radio terrestre: notas históricas.** — La primera operación con el objeto de determinar la forma de la Tierra, de que se tiene noticia, fué la efectuada por Eratóstenes en el año 250 A. J. C. en el Egipto, basándose en las siguientes observaciones:

En los solsticios de verano observó el mencionado sabio, que en la Ciudad Siena, los obeliscos que estaban clavados verticalmente en el suelo no proyectaban sombra a medio día, lo que importaba decir que en ese instante el Sol estaba en el cenit de esa Ciudad. En cambio en la Ciudad de Alejandría situada sobre el mismo meridiano y a 5000 *estadios* (800 Km aproximadamente) al Norte de Siena los obeliscos proyectaban una sombra cuya longitud permitió calcular que los rayos solares formaban con la vertical de ese lugar un ángulo de 7°,2.



Eratóstenes supuso a la Tierra esférica, y por lo tanto el ángulo anterior era igual al ángulo central correspondiente al arco de meridiano comprendido entre Siena y Alejandría. Luego como conocía la longitud de ese arco, dedujo la longitud de la circunferencia del meridiano correspondiente a las ciudades citadas, utilizando la proporcionalidad entre los arcos y los ángulos centrales correspondientes, en la siguiente forma:

Si a $7°,2$ corresponde una longitud de 5000 *estadios*

a $1°$ » » » » $\frac{5000}{7,2}$ »

y $360°$ » » » » $\frac{5000 . 360}{7,2}$ »

lo que dió un resultado de 250000 *estadios* o sea de 40 500000 m valor muy aproximado al verdadero, y de gran precisión dada la naturaleza del método y de los instrumentos empleados.

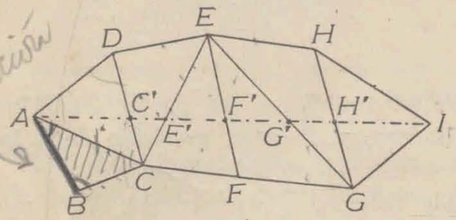
Años más tarde, el emperador Tolomeo que gobernaba el Egipto y había hecho la medición cuidadosa de sus dominios (la distancia entre Siena y Alejandría que utilizó Eratóstenes la obtuvo de esas mediciones) repitió la experiencia hecha por Eratóstenes, siendo menos feliz en su empresa, pues los resultados obtenidos (38 000000 m para el meridiano terrestre) se apartaban más de los verdaderos.

En el año 827 D. J. C. el califa de Bagdad hizo verificar las operaciones anteriores, en las llanuras de la Mesopotamia, obteniendo para la longitud de un meridiano terrestre el valor de 42 500000 m.

Sólo después de aproximadamente siete siglos, en el año 1550, se vuelve a despertar el interés por las mediciones geodésicas. Es el ingeniero y médico Fernel el que se ocupó de medir la distancia entre París y Amiens, ideando para tal objeto un contador de vueltas automático que aplicado a la rueda de su coche, le permitió calcular el número de vueltas que dió ésta al recorrer el camino que separaba a esas dos ciudades. Como conocía la longitud de la circunferencia de esa rueda, pudo calcular la que separaba a las dos ciudades, y con ese dato y la diferencia entre las latitudes de las mismas, obtuvo para el arco de un grado de meridiano un valor de 57 070 *toesas,* o sea 20 545200 *toesas* para todo el meridiano.

Este valor obtenido con un método tan simple es sin embargo de una precisión que todavía nos asombra, pues mediciones posteriores hechas en esa misma región y disponiendo de otros recursos, acusaron una diferencia de tan solo 10 toesas con el valor hallado por Fernel.

En el año 1615 el holandés Snelius efectuó en los Países Bajos nuevas mediciones, que aunque dieron resultados erróneos respecto de la forma de la Tierra, merecen recordarse por haber sido este sabio el que ideó el método para medir distancias llamado de *triangulación,* que, como su nombre lo indica, consiste en llegar de un extremo a otro del arco que se desea medir, mediante una cadena de triángulos de los que se miden cuidadosamente los ángulos y un lado llamado *base de la triangulación.*



Con esos datos se resuelven todos los triángulos formados, conmenzando por el ABC del cual se conocen la base AB y los ángulos A y B, luego el ADC en función del lado AC obtenido por la resolución del anterior y los ángulos ACD y CAD medidos en el terreno, y así se continúa hasta obtener todos los elementos de los triángulos formados. En base a ellos pueden resolverse los triángulos parciales, tales como ADC′, ACC′, CC′E′, etc., que permiten conocer las partes $\overline{AC'}$, $\overline{C'E'}$, etc., en que ha quedado dividida la distancia AI a medir, por la red de triángulos considerada. Una simple suma nos da dicha distancia.

Este procedimiento es el que se emplea actualmente en las mediciones geodésicas.

En el año 1635 el geómetra inglés Norwood, empleó para medir la distancia entre Londres y York una cadena de agrimensor y una brújula, lo que significaba un nuevo recurso para esas mediciones.

La Academia de Ciencias de París en el año 1665, organizó, bajo la dirección del astrónomo Picard, la primera expedición geodésica que tuvo la misión de medir el arco de meridiano de París, comprendido entre las ciudades de Dunkerque y Perpignan.

Aprovechando los datos de las mediciones de Picard, Newton pudo tener una comprobación de su ley de gravitación universal.

En esa época, siglo XVII, el astrónomo Richer que había sido enviado al Ecuador con el objeto de hacer observaciones, comprobó que el péndulo de su reloj sideral se movía con más lentitud que en París, donde lo había arreglado con toda prolijidad y como la duración de las oscilaciones simples de un péndulo es, según se ha visto en Física, $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ resultaba que el valor de g era menor en el Ecuador que en París.

Newton dió una explicación racional de este hecho, aplicando su ley de atracción para el caso particular de la gravedad, sentando que un mismo cuerpo pesaba menos en el Ecuador que en los Polos porque la Tierra que en un principio había sido flúida, debía presentar un achatamiento en los Polos a causa del movimiento de rotación alrededor de su eje.

De ser cierta esta hipótesis, la Tierra debía tener la forma elipsóidica y por lo tanto un grado de meridiano debía tener mayor longitud cerca de los Polos que en el Ecuador.

Con el objeto de comprobar esto último, la Academia de Ciencias de París, envió una expedición a Laponia (cerca del círculo polar ártico) y otra al Perú (cerca del Ecuador), que dieron por resultado la verificación de las previsiones de Newton.

Durante el siglo XVIII, con el objeto de determinar con mayor precisión la forma de la Tierra, pues ya se había comprobado que no era esférica, se midió por segunda vez el arco de meridiano comprendido entre Dunkerque y Perpignan. Se determinó también, por orden del Papa Urbano XIV, el arco de meridiano comprendido entre Roma y Rimini, y varios otros arcos en diversas partes del globo.

Al finalizar el siglo XVIII, año 1790, la Asamblea Constituyente reunida en París, encomendó a la Academia de Ciencias la creación de un nuevo sistema de unidades de medida, que permitiera uniformar y facilitar las mediciones efectuadas y las sucesivas.

La Academia resolvió que la unidad de longitud del nuevo sistema fuera sacada de las dimensiones del globo terrestre, para lo cual dos de sus miembros, Delambre y Mechain, midieron en toesas el arco de meridiano de París comprendido entre Dunkerque y Barcelona.

Esta medición, con las efectuadas anteriormente, permitió calcular la longitud del cuarto de meridiano terrestre en 5130740 *toesas* de París. La diez millonésima parte de esta longitud o sea 0,513074 *toesas* (poco más de media toesa) fué adoptada como unidad de longitud del nuevo sistema y designada con el nombre de *metro*.

Para poder reproducir la unidad y utilizarla en los diversos países, se construyó una barra de platino iridiado, de forma especial, que a la temperatura del hielo en fusión tiene la longitud de un metro. Dicha barra se conserva en los Archivos Nacionales de Francia, y se conoce con el nombre de *metro patrón*.

Mediciones más precisas han probado que el metro no es exactamente la diez millonésima parte del cuarto de meridiano sino algo menor (0,19 mm).

Durante el siglo XIX se realizaron importantes expediciones geodésicas, que han dado como resultado un conocimiento más exacto de la forma de la Tierra, dado que el mayor grado de precisión de los instrumentos permitió hacer grandes triangulaciones para hallar la medida de arcos de meridiano de gran longitud.

Dibujo de L. Rudaux (« *Le Ciel* »)

Así en Rusia se midió un arco de 25°, en la India uno de 24°, y combinando las triangulaciones efectuadas por Francia, España e Inglaterra se pudo medir un arco de meridiano de 38°.

Más tarde se midió nuevamente el meridiano del Perú en una extensión de 6°; el meridiano de Spitzberg de 4°10′ y en los Estados Unidos se midió el meridiano 90° al Oeste de Greenwich en una extensión de 22° y en Africa otro arco de 25°.

Es necesario dar a estas mediciones todo el valor que ellas tienen y pensar el trabajo enorme que significa la medición de arcos de más de 4000 Km (38°) de longitud, con gran precisión.

Para terminar recordamos que en 1864 se reunió por vez primera la *Asociación Geodésica Internacional,* fundada con el objeto de compilar todos los trabajos geodésicos realizados y obtener la colaboración de todas las naciones para continuarlos.

A esta Asociación se deben la formación del *Comité Internacional de Pesas y Medidas,* y el descubrimiento y la medición del desplazamiento de los Polos.

89. **Mapas. Algunas de las proyecciones más importantes.** — Se conocen con el nombre de *mapas* a las representaciones sobre un plano de una región de la superficie terrestre.

La confección de los mapas correspondientes a grandes extensiones de la Tierra, presenta dificultades puesto que siendo este planeta aproximadamente esférico, su superficie no se puede extender exactamente sobre un plano sin que sufra pliegues o roturas.

Ya que no es posible dibujar la figura exacta de una parte de la superficie esférica mediante el desarrollo de la misma sobre un plano, se obtiene una representación aproximada de ella por el empleo de los *métodos de proyección,* en los cuales se trata de que los mapas que se obtengan conserven la *forma,* o la *superficie* o las *distancias* según los casos.

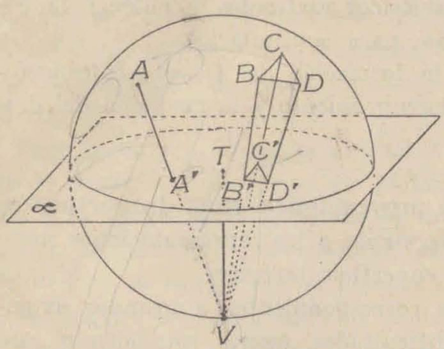
Trataremos en primer lugar los métodos de proyección llamados *estereográfico* y *ortográfico,* inventados por Hiparco en el año 130 A. J. C.

90. **Proyección estereográfica.** — Este método consiste en considerar a la Tierra como una esfera, en tomar como *plano de proyección al Ecuador o a un meridiano* y como *proyectantes* a los segmentos determinados por el extremo (*centro de proyección*) del radio perpendicular a dicho plano, situado en el hemisferio opuesto al que se quiere proyectar, con cada uno de los puntos de dicho hemisferio.

Definición. — Se llama *proyección estereográfica de un punto* A de una esfera, a la intersección A′, del segmento $\overline{VA}$ que une dicho punto con el centro de proyección V y el plano de proyección α.

¡Y want to be a monster!

Se llama proyección *estereográfica de una figura* BCD perteneciente a una esfera, a la figura B′C′D′ determinada por las proyecciones estereográficas de cada uno de esos puntos.



Puede demostrarse que este método de proyección goza de las siguientes propiedades:

1º *La proyección estereográfica de una circunferencia perteneciente a la superficie esférica y que no pase por el centro de proyección es otra circunferencia.*

2º *La proyección estereográfica de una circunferencia máxima pase por el centro de proyección es un segmento.*

3º *El ángulo formado por dos líneas* (*) *de la superficie esférica es igual al que forman las proyecciones estereográficas de dichas líneas.*

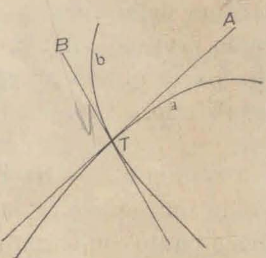
91. **Proyección estereográfica sobre el Ecuador.** — En este caso el plano de proyección es el del Ecuador terrestre y el centro de proyección el polo Norte o el Sud según se quiera representar a una figura el hemisferio austral o boreal, respectivamente.

Si se confecciona un plano de una región de la Tierra, y se quiere fijar la posición de la misma sobre la esfera terrestre, basta conocer las coordenadas geográficas de algunos de sus puntos, las que pueden determinarse, como hemos visto (nº 68 y 69), por medios astronómicos.

Como esas coordenadas se cuentan con ayuda de los meridianos y paralelos que pasan por esos puntos, resulta que las proyecciones de

(*) Se llama *ángulo de dos líneas* que se cortan al ángulo formado por las tangentes trazadas a las mismas en uno de los puntos de intersección.

Cuando dicho ángulo es recto se dice que las líneas son perpendiculares o que se cortan perpendicularmente.



Ejemplo. — Las curvas *a* y *b* forman en T el ángulo ATB. La definición dada es válida para el caso en que las curvas no pertenezcan al mismo plano.

los mismos podrán determinarse conociendo las de los meridianos y paralelos correspondientes.

Por esa razón nos ocuparemos ahora de las proyecciones estereográficas de los meridianos y paralelos sobre el Ecuador.

Proyecciones de los meridianos. — Teniendo en cuenta que la proyección de un meridiano es un segmento, por ser dicho meridiano una circunferencia máxima que pasa por el centro de proyección (propiedad 2ª), resulta que para determinarlo basta conocer dos de sus puntos.

Como todos los meridianos pasan por el polo P opuesto al V tomado como centro de proyección, y la proyección de ese polo P es el centro O del Ecuador, resulta que *las proyecciones estereográficas de los meridianos sobre el Ecuador pasan por el centro O del mismo.*

El otro punto que tomaremos para encontrar la proyección de un meridiano es el pie del mismo sobre el Ecuador, pues su proyección es el mismo punto.

De acuerdo con esto se tiene que si la $C_{(O)}$ representa al Ecuador (fig. 2), y se la divide en 12 partes iguales, los radios que pasan por los

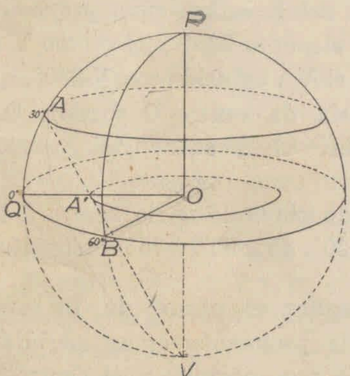


Fig. 1

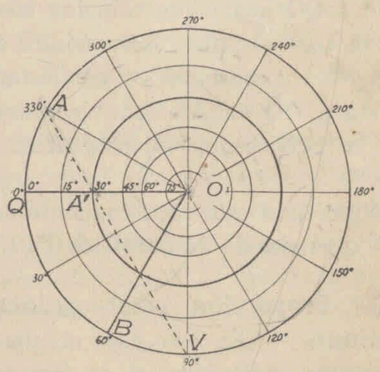


Fig. 2

puntos de división son las proyecciones estereográficas sobre el Ecuador, de los meridianos de 0°, 15°, 30°, 45°, 60°. . . y 330° de longitud.

Proyecciones de los paralelos. — Teniendo en cuenta que un paralelo es una circunferencia que no pasa por el centro de pro-

Por una chirola] fenómeno
tango

yección, resulta que su proyección estereográfica sobre el Ecuador es (propiedad 1ª) otra circunferencia.

Como todos los paralelos tienen sus centros sobre el eje del mundo, y los puntos de éste tienen por proyección al punto O centro del Ecuador, resulta que bastará determinar la proyección de otro punto del paralelo para poder trazar su circunferencia de proyección. El otro punto que consideraremos para encontrar la proyección de un paralelo, es el de intersección de éste con uno de los meridianos ya trazados.

Así, por ejemplo, para hallar la proyección del paralelo de 30° de latitud determinaremos la proyección A′ del punto A de intersección del mismo con el meridiano de 0° de longitud (fig. 1).

Como el punto A pertenece al meridiano de 0°, su proyección se encontrará sobre la de dicho plano que es $C_{(O)}$, y como por definición de proyección estereográfica debe también encontrarse sobre el segmento $\overline{VA}$ que lo une con el centro de proyección, resulta que el punto A′ de intersección de $\overline{OQ}$ y $\overline{VA}$ es la proyección buscada, vale decir, $\overline{OA'}$ será el radio de la proyección del paralelo de 30°.

Si el plano del meridiano de 0° se hace girar alrededor del diámetro QO hasta que coincida con el del Ecuador, cuya proyección es la $C_{(O)}$, el punto A coincidirá con el punto 330° y el centro V de proyección con el 90°, y por lo tanto el $\overline{VA}$ coincide con V 330°, que corta a OQ en A′. La circunferencia de centro O y radio OA′ es la proyección estereográfica sobre el Ecuador del paralelo de 30°.

Siguiendo este procedimiento se han obtenido en la figura 2 las proyecciones de los paralelos 0°, 15°, 30°, 45°, 60° y 75° de longitud.

92. **Proyección estereográfica sobre el plano de un meridiano.** — En este caso el plano de proyección es un meridiano terrestre cualquiera, el de Greenwich por ejemplo, y el centro de proyección el extremo del diámetro perpendicular a su plano situado al E o al O de dicho meridiano según se quiera representar a una región del hemisferio Occidental u Oriental, respectivamente.

Determinaremos, como en el caso anterior, las proyecciones estereográficas de los meridianos y paralelos.

PROYECCIÓN DE LOS MERIDIANOS. — Teniendo en cuenta que un meridiano es una circunferencia que no pasa por el centro de proyección, resulta que su proyección sobre el meridiano origen, será una circunferencia (prop. 1ª).

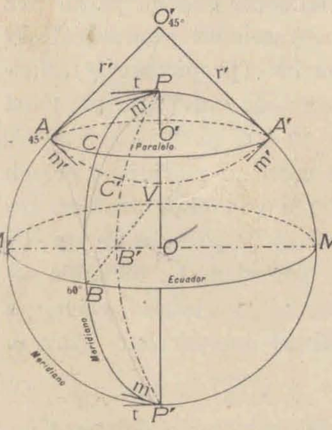


Fig. 1

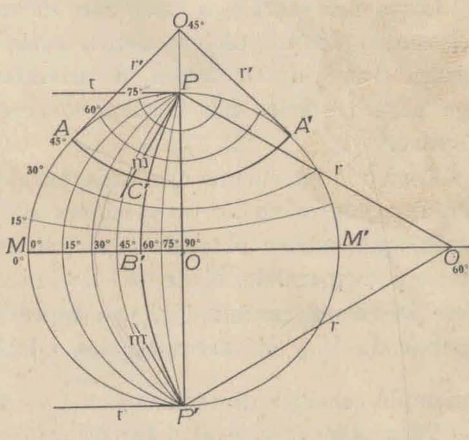


Fig. 2

Como cada meridiano tiene común con el meridiano origen los polos P y P′, cuyas proyecciones son ellos mismos, para hallar la proyección del meridiano 60°, por ejemplo, bastará encontrar el centro de la circunferencia proyectada de la que se conocen los puntos P y P′.

Pero el meridiano origen y el de longitud 60° forman en los puntos P y P′ ángulos de 60°, luego sus proyecciones que son el mismo meridiano origen y el que se busca formarán, de acuerdo con la propiedad 3ª, también en P y P′ ángulos de 60°. Por lo tanto si se trazan (fig. 2) las tangentes *t* y *t* en P y P′ a la circunferencia $C_{(O)}$ que es la proyección estereográfica del meridiano origen, y luego se forman con esas rectas ángulos de 60° de vértice P y P′ las rectas *m* y *m* así obtenidas son tangentes a la circunferencia proyección del paralelo de 60°. meridiano

Teniendo presente que la tangente a una circunferencia es perpendicular al radio que pase por el punto de contacto, resulta que las perpendiculares *r* y *r* a las tangentes *m* y *m* en los puntos P y P′, respectivamente, se cortan en un punto O_{60} que es el centro de la circunferencia proyección del paralelo de 60° de longitud.

Siguiendo este procedimiento se han determinado las proyecciones de los meridianos de 15° en 15°.

meridiano

PROYECCIÓN DE LOS PARALELOS. — Como el Ecuador es una circunferencia máxima que pasa por el centro de proyección, su proyección estereográfica sobre el meridiano es un diámetro MM′ del mismo (propiedad 2ª).

Los demás paralelos como son circunferencias que no pasan por el centro de proyección, tienen como proyecciones estereográficas sobre el meridiano origen, a circunferencias (propiedad 1ª), luego para trazarlas nos bastará conocer uno de sus puntos y el centro.

Teniendo en cuenta que cada paralelo corta al meridiano origen en dos puntos cuyas proyecciones coinciden con ellos mismos, resulta que pueden obtenerse dos puntos de la proyección de un determinado paralelo, el de 45° de latitud, por ejemplo, tomando sobre la circunferencia $C_{(O)}$ que representa al meridiano origen a partir de M y M′ arcos iguales a la latitud del paralelo. Para el ejemplo considerado tomamos $\overset{\frown}{MA} = 45°$ y $\overset{\frown}{M'A'} = 45°$ (fig. 2).

Para obtener el centro la circunferencia proyección del paralelo, basta observar que como todos ellos cortan perpendicularmente al meridiano origen, en la misma forma se cortarán sus respectivas proyecciones estereográficas (propiedad 3ª).

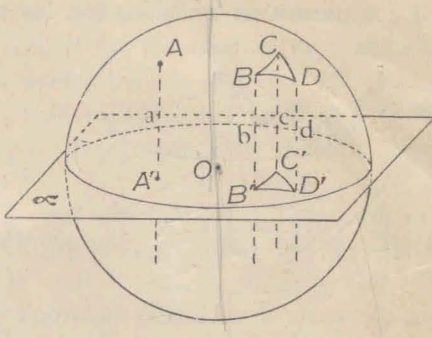
Por lo tanto si se trazan las tangentes *r′* y *r′* a la $C_{(O)}$ proyección del meridiano origen (fig. 2), en los puntos A y A′ respectivamente, los radios $\overline{OA}$ y $\overline{OA'}$ de esa circunferencia son las tangentes a la proyección buscada, luego *r′* y *r′* por ser perpendiculares a esos radios pasan por el centro de la circunferencia buscada, que en este caso es $O_{45°}$. Luego el arco de circunferencia de centro $O_{45°}$ y radio $\overline{O_{45°}A} = \overline{O_{45°}A'}$ es la proyección estereográfica del arco AA′ del paralelo de 45° de latitud sobre el meridiano origen.

En esta forma se han trazado las proyecciones estereográficas de los paralelos 15°, 30°, 45°, 60° y 75° de latitud.

94. **Proyección ortográfica.** — Este método consiste en considerar a la Tierra como una esfera, en tomar como *plano de proyección* al *Ecuador* o a un *meridiano* y como *proyectantes* a las perpendiculares trazadas al plano de proyección por cada uno de los puntos que se quieren proyectar.

// VIVA YO !! Amalias!

DEFINICIÓN. — Se llama *proyección ortográfica de un punto* A de una esfera, *al pie* A′ de la perpendicular AA′ al plano de proyección α, y *proyección ortográfica de una figura* BCD perteneciente a dicha esfera, a la figura B′C′D′ formada por las proyecciones ortográficas de cada uno de sus puntos.



Puede demostrarse que este método de proyección goza de las siguientes propiedades:

PROPIEDAD I. — *La proyección ortográfica de una circunferencia situada en un plano paralelo al de proyección es otra circunferencia igual a la anterior.*

PROPIEDAD II. — *La proyección ortográfica de una circunferencia situada en un plano perpendicular al de proyección es un segmento de la intersección de su plano con el de proyección.*

95. **Proyección ortográfica sobre el Ecuador.** — En este caso el plano de proyección es el del Ecuador y por lo tanto las proyectantes son perpendiculares a dicho plano.

Trataremos de determinar como en el método anterior, las proyecciones de los meridianos y paralelos sobre el Ecuador.

PROYECCIÓN DE LOS MERIDIANOS. — Teniendo en cuenta que los meridianos son perpendiculares al Ecuador, por contener al eje del mundo PP′, sus proyecciones son segmentos (prop. II) de manera que bastará conocer dos de sus puntos para poderlos trazar.

Como todos los meridianos pasan por el polo P del hemisferio que se trata de proyectar, y la proyección de ese polo P es el centro O del Ecuador, resulta que las proyecciones ortográficas de los meridianos sobre el Ecuador pasan por el centro O del mismo.

El otro punto que consideraremos para encontrar la proyección de un meridiano, es el pie B del mismo sobre el Ecuador, pues su proyección es el mismo punto.

De acuerdo con esto se tiene que si $C_{(O)}$ representa al Ecuador (fig. 2) y se ha dividido en 12 partes iguales, los radios que pasan por los puntos de división, son las proyecciones ortográficas sobre

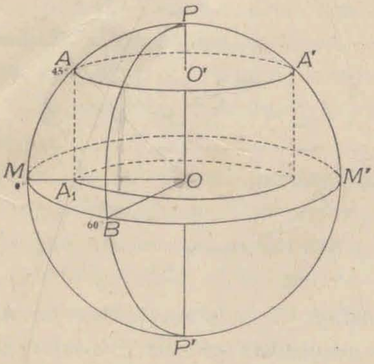


Fig. 1

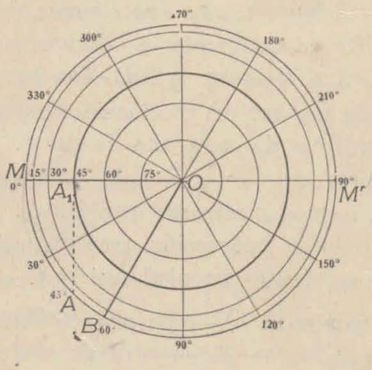


Fig. 2

el Ecuador de los meridianos de 0°, 30°, 60°, ... 330° de longitud.

Proyecciones de los paralelos. — Teniendo en cuenta que los paralelos son circunferencias pertenecientes a planos paralelos al Ecuador, resulta que sus proyecciones sobre dicho plano son circunferencias (prop. I).

Como todos los paralelos tienen sus centros sobre el eje del mundo y los puntos de éste tienen por proyección al punto O, centro del Ecuador, resulta que bastará determinar la proyección de otro punto del paralelo para poder trazar su circunferencia de proyección.

El otro punto que consideraremos para encontrar la proyección de un paralelo, es el de intersección de éste con uno de los meridianos ya trazados. Así por ejemplo, para hallar la proyección del paralelo de 45° de latitud determinaremos la proyección A_1 del punto A de intersección del mismo con el meridiano de 0° de longitud.

Como el punto A pertenece al meridiano de 0°, su proyección se encontrará sobre la de dicho plano que es $\overline{OM}$, y como por definición de proyección ortográfica debe encontrarse sobre la perpendicular AA_1 al Ecuador, resulta que A_1 pie de dicha perpendicular, perteneciente a $\overline{OM}$ es la proyección buscada, vale decir, OA_1, es el radio de la proyección del paralelo de 45°.

Si el plano del meridiano de 0° se hace girar alrededor del diámetro MM′ hasta que coincida con el del Ecuador, cuya proyección es la $C_{(O)}$ (fig. 2), el punto A coincidirá con el punto 45°. Por lo tanto trazando $AA_1 \perp OM$, el pie A_1 es la proyección de A y la circunferencia $C_{(O \text{ y } \overline{OA_1})}$ es la proyección ortogonal del paralelo de 45° de latitud sobre el Ecuador.

Sigiendo este procedimiento se han obtenido en la figura las proyecciones de los paralelos de 0°, 15°, 30°, 45°, 60° y 75° de latitud.

96. Proyección ortográfica sobre el plano de un meridiano. — En este caso el plano de proyección es el de un meridiano terrestre cualquiera, el de Greenwich por ejemplo, y las proyectantes son las perpendiculares a ese plano trazadas por los puntos del hemisferio que se desea proyectar.

Determinaremos como en los casos anteriores las proyecciones de los meridianos y paralelos.

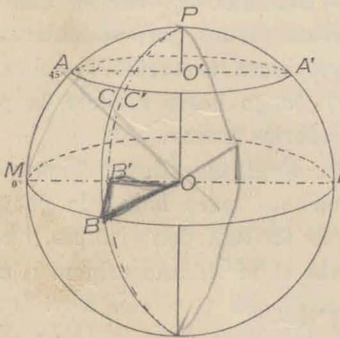


Fig. 1

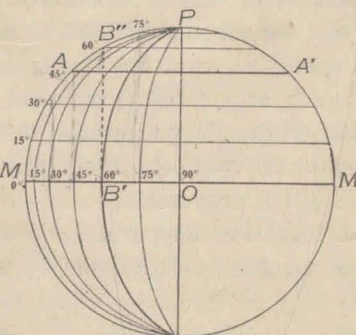


Fig. 2

Proyección de los meridianos. — Como el plano del meridiano de 90° de longitud es perpendicular al del meridiano origen su proyección ortográfica sobre este último es la recta PP′, de acuerdo con la propiedad 2ª y con la consideración de que los puntos P y P′ se proyectan sobre sí mismos por pertenecer al plano de proyección.

Si consideramos otro meridiano cualquiera (que no sea el de 180°

de longitud) su proyección ortográfica sobre el meridiano origen es una elipse cuyo eje mayor es PP′. Para poderla construir basta conocer el eje menor, que es la proyección ortográfica de su radio ecuatorial.

Consideremos, por ejemplo, el meridiano de 60° de longitud.

Para hallar la proyección ortográfica de su radio ecuatorial, tengamos en cuenta (fig. 1) que siendo BB′ perpendicular al plano del meridiano origen por definición de proyección ortográfica, es $BB' \perp OB'$ que pertenece a ese plano y pasa por su pie, luego el triángulo OB′B es rectángulo en B′. Como este triángulo se puede construir, pues se conoce la hipotenusa $\overline{OB}$ y el ángulo agudo ω. nos permite hallar la proyección $\overline{OB'}$ de $\overline{OB}$ sobre el meridiano origen. Eso es lo que se ha hecho en la figura 2, donde se ha trazado también la semielipse de semiejes $\overline{OP}$ y $\overline{OB'}$ que representa la proyección del meridiano de 60° de longitud sobre el meridiano origen.

Con el mismo procedimiento se han trazado las de los meridianos de 15°, 30°, 45° y 75° de longitud.

Proyección de los paralelos. — Teniendo en cuenta que los paralelos son circunferencias situadas en planos perpendiculares al de proyección, resulta que sus proyecciones ortográficas sobre el mismo son segmentos (propiedad 2ª), luego basta conocer la proyección de dos de sus puntos para poderlos trazar.

Como cada paralelo tiene común con el meridiano origen dos puntos y las proyecciones son ellos mismos, para hallar la proyección ortográfica del paralelo de 45° de latitud, por ejemplo, bastará tomar sobre la $C_{(O)}$, que representa el meridiano origen, a partir de M y M′ arcos iguales a la latitud del paralelo. En nuestro ejemplo hemos tomado (fig. 2) $\widehat{MA} = 45°$ y $\widehat{M'A'} = 45°$, luego el segmento AA′ es la proyección del paralelo considerado.

Con el mismo procedimiento se han trazado las proyecciones ortográficas de los paralelos de 15°, 30°, 60° y 75° de latitud.

97. **Proyección de Mercator.** — Como las proyeciones estereográfica y ortográfica sólo permiten hallar la proyección de un hemisferio terrestre, resulta que requieren la construcción de dos mapas para obtener la de toda la Tierra.

Con el método de Mercator, que vamos a estudiar, se puede obtener la representación de toda la superficie terrestre con una sola carta.

Este método de proyección fué inventado en el siglo XVI, año 1569, para satisfacer las necesidades de la navegación que en dicho siglo alcanzó gran desarrollo que se había iniciado en 1492 con el descubrimiento de América.

En el método de proyección de Mercator se considera a la Tierra como una esfera, se toma como plano de proyección al *desarrollo* de una superficie cilíndrica que tiene por directriz al Ecuador terrestre, por proyección de los meridianos a las rectas de intersección de su plano con la superficie cilíndrica, y por proyección de los paralelos la intersección de sus planos con dicha superficie cilíndrica, pero separados de manera que sus distancias aumenten a medida que se alejen del Ecuador. La ley que rige la separación de esos planos es tal que de acuerdo con ella el ángulo que forman dos líneas de la esfera es igual al de sus proyecciones.

Como las proyecciones de los meridianos y paralelos se obtienen hallando las intersecciones de sus planos con la superficie cilíndrica, en la forma que hemos indicado y *desarrollando* luego dicha superficie, resulta que la proyección de Mercator goza de las siguientes propiedades:

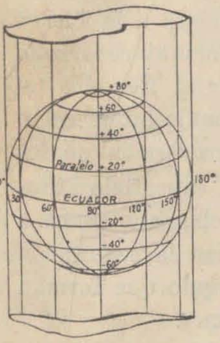
1º *Las proyecciones de los meridianos son rectas equidistantes perpendiculares al segmento que representa a la proyección del Ecuador.*

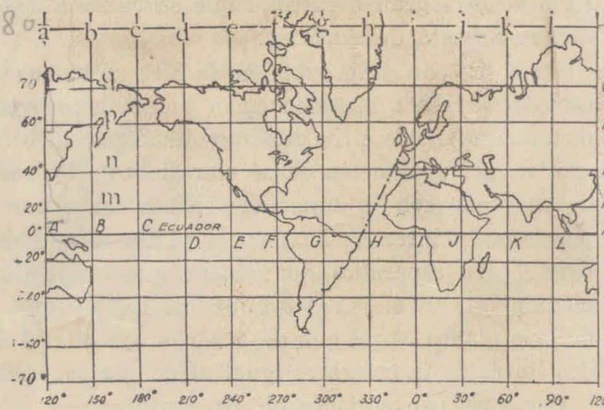
2º *Las proyecciones de los paralelos son segmentos de rectas paralelas a la del Ecuador, cuyas separaciones aumentan con la latitud.*

De acuerdo con estas propiedades resulta muy fácil construir el canevas para una carta hecha en la proyección de Mercator.

En la figura el segmento AA′ representa en escala al Ecuador terrestre, y las rectas *a*, *b*, *c* .... *l* perpendiculares a AA′ en los puntos A, B, C, ... L respectivamente representan los meridianos de 30°, 60°, 90°, 120°. 150°, ... 120°, pues se han tomado los segmentos $\overline{AB} = \overline{BC} = \dots = \overline{KL} = \frac{\overline{AA'}}{12}$.

Los segmentos *m, n, ...r,* paralelos a AL representan a los paralelos de 20°, 40°, 60° y 80° y —20°, —40°, —60°, —80° de latitud, pues los segmentos $\overline{AM}$, $\overline{MN}$. $\overline{NP}$ y $\overline{PQ}$ que dan la separación entre esos paralelos han sido calculados de acuerdo con la ley que rige esa separación.





Puede observarse que las regiones de la Tierra muy próximas a los polos se proyectan según figuras cuyas superficies son desproporcionadas a las reales, razón por la cual se limitan las cartas hechas con la proyección Mercator a regiones comprendidas entre los paralelos de + 80° y — 80° de latitud.

Habíamos dicho que las cartas de Mercator se utilizaban mucho en la navegación, y se comprende la razón si se tiene en cuenta que esta proyección conserva los ángulos, de manera que para recorrer en el mar cierta distancia, basta medir el ángulo que en la carta forma el segmento que la representa con uno de los meridianos y mantener la dirección del barco en forma tal que su brújula indique constantemente dicho rumbo.

El segmento considerado es la proyección de una línea de la superficie terrestre que se llama *loxodrómica,* la cual corta a los meridianos bajo el ángulo constante que se midió en la carta.

La longitud de la loxodrómica comprendida entre dos puntos, es mayor que el arco de círculo máximo que tiene esos extremos, por lo tanto actualmente se trata de navegar siguiendo el último camino por razones de economía de tiempo y de combustible.

CAPITULO XII

MOVIMIENTOS DE LA TIERRA

PROGRAMA. — *Movimientos de la Tierra: Rotación y traslación. Pruebas experimentales. La órbita terrestre. Perihelio y afelio Las estaciones. Precesión de los equinoccios. La nutación.*

100. **Movimiento de rotación de la Tierra.** — El movimiento de rotación de la esfera celeste alrededor del eje del mundo, puede explicarse, como habíamos visto (nº 3) mediante cualquiera de las dos hipótesis siguientes:

1º Admitiendo que la Tierra está inmóvil y que las estrellas giran alrededor de ella, como si estuviesen fijas a una esfera y que esta girará alrededor de uno de sus diámetros en sentido retrógrado.

O bien:

2º Admitiendo que la esfera celeste está fija y que la Tierra gira alrededor de su eje en sentido directo.

Aún cuando estas hipótesis son equivalentes desde el punto de vista mecánico, se facilita la explicación de los fenómenos astronómicos, aceptando como verdadera la segunda hipótesis, pues con la primera resultarían, por ejemplo, las estrellas animadas de velocidades enormes, aún con respecto a la velocidad de la luz, distintas para cada una de ellas, teniendo como centro de estas rotaciones a la Tierra.

En cambio la hipótesis segunda, significa admitir un simple movimiento de un cuerpo esférico alrededor de uno de sus diámetros, cosa que se ve en otros planetas como Marte, Júpiter y Saturno al observarlos con los telescopios.

101. **Pruebas del movimiento de rotación de la Tierra.** — Además de las apariencias del movimiento de la esfera celeste, hay hechos experimentales que ponen de manifiesto el movimiento de rotación de la Tierra con respecto a la esfera celeste.

Desviación de la vertical de los cuerpos que caen. — Si se abandona un cuerpo en la boca de un pozo de gran profundidad, se nota que al llegar al fondo, se ha desviado ligeramente hacia el Este del pie de la vertical del punto de partida.

Este hecho se explica suponiendo que la Tierra gira alrededor de su eje de O a E y por lo tanto, todos sus puntos están animados de la misma velocidad angular, pero no tangencial, pues esta última es proporcional a su distancia al eje de rotación.

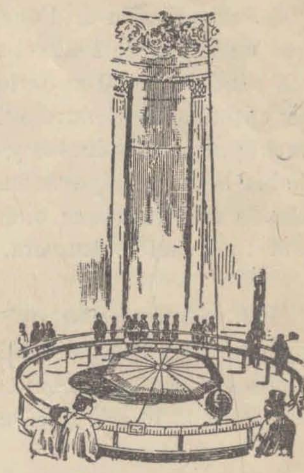
Como por esta última causa los puntos del fondo del pozo tienen menor velocidad tangencial que los de la boca, y el cuerpo conserva por inercia su velocidad primitiva, queda explicada la desviación constatada.

Esta experiencia realizada en un pozo de mina de 160 m de profundidad, permitió medir una desviación de 28 mm. Dicha desviación varía con la latitud. En el Ecuador sería máxima e igual a 33 mm cada 100 m de profundidad.

Péndulo de Foucault. — Una experiencia de gran valor para la prueba del movimiento de rotación de la Tierra, es la realizada en el año 1857 por el físico Foucault, en el Panteón de París.

Se utiliza en esa experiencia la invariabilidad del plano de oscilación de un péndulo.

Se ha estudiado en Física, y los alumnos lo han comprobado experimentalmente, que si se hace oscilar a un péndulo en un soporte como el de la figura 1, y se adapta el mismo a una máquina centrífuga· se observa que al girar dicho soporte el péndulo continúa oscilando en el plano en que lo hacía cuando estaba en reposo.



Esta experiencia de gabinete que acabamos de describir, se realizaría naturalmente en la superficie de la Tierra, si se hiciera oscilar, en uno de sus polos, un péndulo que en la posición de equilibrio coincidiera con el eje de la Tierra.

De acuerdo con lo dicho anteriormente el plano de oscilación del péndulo permanecería invariable y la Tierra desempeñaría el mismo papel que el de la máquina centrífuga en el gabinete. Pero para el observador que realiza la experiencia, como es arrastrado por la Tierra en su movimiento de rotación, el fenómeno se le presentará así: verá que el plano de oscilación del pén dulo va girando de E a O y da una vuelta completa al cabo de un

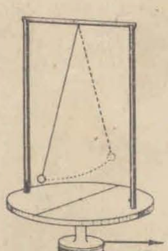


Fig. 1

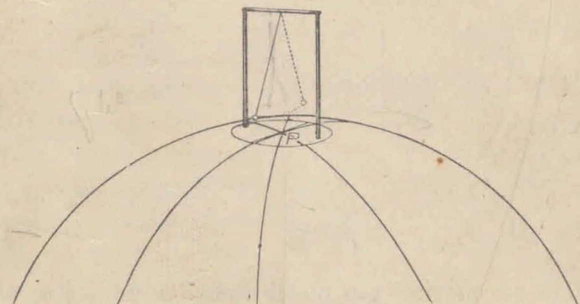


Fig. 2

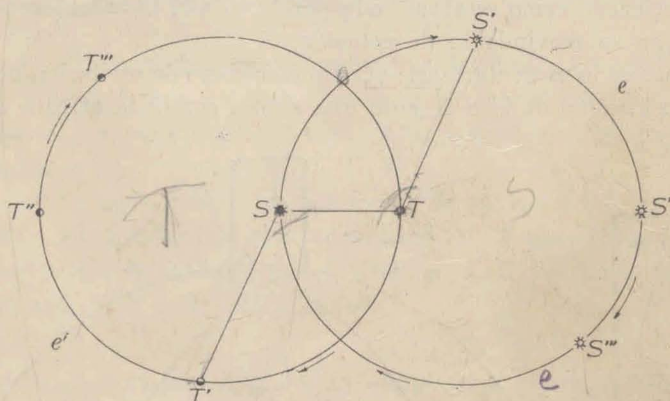
día sideral, lo que prueba que la Tierra se mueve en sentido contrario.

Esta experiencia puede realizarse en un lugar cualquiera, variando con la latitud el tiempo que tarda en volver el péndulo a su posición de equilibrio. A los 30° de latitud la experiencia completa dura 48 horas.

Foucault utilizó para realizar este experimento un péndulo de 70 metros de longitud.

La experiencia de Foucault la repitió últimamente en Buenos Aires, en Marzo de 1931, el señor Ing. D. Norberto B. Cobos, utilizando un péndulo de 50 m de longitud, que hizo oscilar suspendiéndolo en la cúpula del Congreso Nacional. Se hizo mover al péndulo solamente algunos minutos y al cabo de ese tiempo se vió que su plano había descripto aparentemente el ángulo previsto por el cálculo, de donde resultaba que dicho péndulo tardaría 32 h 17 min 20 seg en dar una vuelta completa.

102. **Movimiento de traslación.** — Al estudiar el movimiento aparente del Sol con respecto a las estrellas, habíamos dicho que se explicaba ese movimiento, suponiendo que dicho astro recorría una elipse en la que la Tierra ocupaba uno de sus focos.



Pero ese movimiento puede también explicarse admitiendo que el Sol permanece fijo, mientras la Tierra es la que describe una elipse ocupando el Sol uno de sus focos, moviéndose en el mismo sentido y con igual velocidad en el plano de la eclíptica, pues en ambos casos, como veremos a continuación, las apariencias son exactamente las mismas.

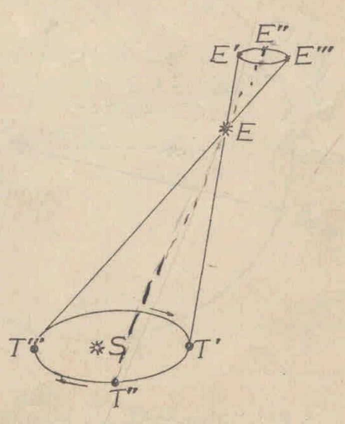
En efecto: supongamos que la elipse (e) sea la trayectoria aparente del Sol y (e') la descripta por la Tierra de acuerdo con la segunda suposición.

Cuando el Sol ocupa la posición S, foco de la elipse (e'), la Tierra, de acuerdo con la segunda hipótesis, está en T, foco de la trayectoria (e) aparente del Sol, dicho astro cualquiera que sean las hipótesis relativas a su movimiento, se ve desde la Tierra sobre la semirrecta ST.

Si el Sol describe sobre e el arco SS′, cuando está en S′ se ve desde la Tierra en la dirección TS′, pero lo mismo sucede si se admite la segunda hipótesis, pues de acuerdo con ella la Tierra describiría el arco TT′ igual a SS′ y por lo tanto desde T′ se vería al Sol en la dirección T′S paralela a TS′ porque de la igualdad de esos arcos resulta la de los ángulos T′ST y STS′ que son alternos internos. Como lo mismo sucedería para cualquier otra posición del Sol, resulta que la segunda hipótesis explica perfectamente el movimiento del Sol.

Las consideraciones que siguen ponen de manifiesto la conveniencia de aceptar la segunda hipótesis, con lo que se consigue además gran uniformidad en el movimiento de los astros, pues la Tierra, como veremos más adelante, pertenece a un grupo de éstos, llamados planetas, de masas inferiores a la del Sol, y que todos describen órbitas elípticas en las que el Sol ocupa uno de los focos.

103 **Pruebas del movimiento de traslación de la Tierra.** — Si se determinan durante un año las posiciones de una estrella cercana, Sirio por ejemplo, con la ayuda de los grandes telescopios, se constata que se mueve respecto de las más alejadas, que pueden considerarse como fijas, describiendo exactamente en un año, una pequeña elipse.



La explicación de este hecho como se ve en la figura, es el que la Tierra se traslada alrededor del Sol S describiendo una elipse T′T″T‴ precisamente en un año, lo que hace aparecer a la estrella E describiendo la pequeña elipse E′E″E‴.

Esta comprobación la efectuaron en el año 1837, casi simultáneamente, los astrónomos Bessel, Henderson y Struve, con las estrellas 61 Cisne, α del Centauro y α de la Lyra respectivamente.

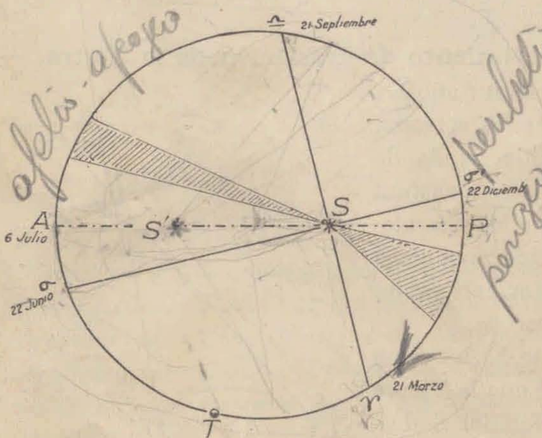
Otra prueba del movimiento de traslación de la Tierra, lo da el principio de Doppler-Fiseau, al observar que en el espectro de la luz de una estrella se constata un corrimiento de las rayas del mismo hacia el rojo durante medio año y hacia el violeta durante la otra mitad, lo que demuestra que la Tierra es la que se mueve con respecto al Sol describiendo una curva cerrada.

El mismo principio permite determinar la velocidad de traslación que resulta ser aproximadamente 30 Km por minuto.

Conviene tener presente que durante todo el movimiento de traslación de la Tierra, su eje permanece sensiblemente paralelo a sí mismo, como puede comprobarse determinando su posición en diversas épocas por alguno de los métodos que hemos señalado (nº 69).

104. **La órbita terrestre. Perihelio y Afelio.** — Las consideraciones de los párrafos anteriores nos llevan a la siguiente conclusión:

La Tierra describe anualmente una elipse alrededor del Sol, ocupando este último uno de los focos, en sentido directo. Conviene agregar que *ese movimiento tiene lugar con velocidades tales que las áreas descriptas por el radio que une el centro del Sol con el de la Tierra en dos intervalos iguales, son iguales* (*).



Si $\gamma\sigma \simeq \sigma'$ es la elipse que representa la *órbita descripta por la Tierra* alrededor del Sol.

(*) Esta última condición constituye una de las leyes del movimiento de todos los astros descubiertas por Kepler y que se estudiarán más adelante.

y S y S' los focos de la misma, el segmento $\overline{AP}$ que pasa por S y S' es el *eje mayor* de la órbita.

Se dice que la Tierra está en *afelio* o *perihelio* según que su distancia al Sol sea *máxima* o *mínima*, respectivamente.

Como el foco de la elipse no coincide con el centro de la misma, resulta, por una propiedad de dicha curva, que la Tierra cuando está en *afelio* o *perihelio,* coincide con los extremos del eje mayor de la órbita.

En la figura la posición A corresponde al afelio y la P al perihelio, y las superficies rayadas, que son iguales, son las descriptas por el radio Sol-Tierra en intervalos iguales.

105. **Excentricidad de la órbita de la Tierra.** — Recordemos que si en una elipse SS' es la distancia de los focos o *distancia focal,* se llama *excentricidad de la elipse* al cociente entre la distancia focal y el eje mayor. Luego la excentricidad e de la órbita de la Tierra será

$$\textit{Excentricidad } e = \frac{\textit{distancia focal } \overline{SS'}}{\textit{eje mayor } \overline{AP}}$$

Vamos a tratar determinar esa excentricidad conociendo los diámetros aparentes del Sol, para lo cual recordemos que (nº 70) *los diámetros aparentes de un mismo astro son inversamente proporcionales a sus distancias al observador.*

Si $\overline{SA}$ y $\overline{SP}$ son las distancias de la Tierra al Sol en su afelio y perihelio y δ_a y δ_p los diámetros aparentes del Sol en esas épocas, se tendrá:

$$[1] \qquad \frac{\overline{SA}}{\overline{SP}} = \frac{\delta_p}{\delta_a}.$$

Teniendo en cuenta que:

$$\overline{SA} = \frac{\overline{AP}}{2} + \frac{\overline{SS'}}{2} = \frac{\overline{AP} + \overline{SS'}}{2} \quad \text{y} \quad \overline{SP} = \frac{\overline{AP}}{2} - \frac{\overline{SS'}}{2} = \frac{\overline{AP} - \overline{SS'}}{2}$$

se tiene:
$$\frac{\overline{SA}}{\overline{SP}} = \frac{\overline{AP} + \overline{SS'}}{\overline{AP} - \overline{SS'}}.$$

Dividiendo ambos términos del segundo miembro por AP y simplificando resulta:

$$\frac{\overline{SA}}{\overline{SP}} = \frac{1 + \dfrac{\overline{SS'}}{\overline{AP}}}{1 - \dfrac{\overline{SS'}}{\overline{AP}}} \quad \text{y como} \quad \frac{\overline{SS'}}{\overline{AP}} = e$$

$$[2] \qquad \frac{\overline{SA}}{\overline{SP}} = \frac{1+e}{1-e}$$

de [1] y [2] resulta: $\dfrac{\delta_p}{\delta_a} = \dfrac{1+e}{1-e}$ o sea: $\delta_p - \delta_a = e\,(\delta_a + \delta_p)$

luego $$e = \frac{\delta_p - \delta_a}{\delta_p + \delta_a}.$$

Reemplazando los valores observados de δ_p y δ_a se obtiene para la excentricidad valor

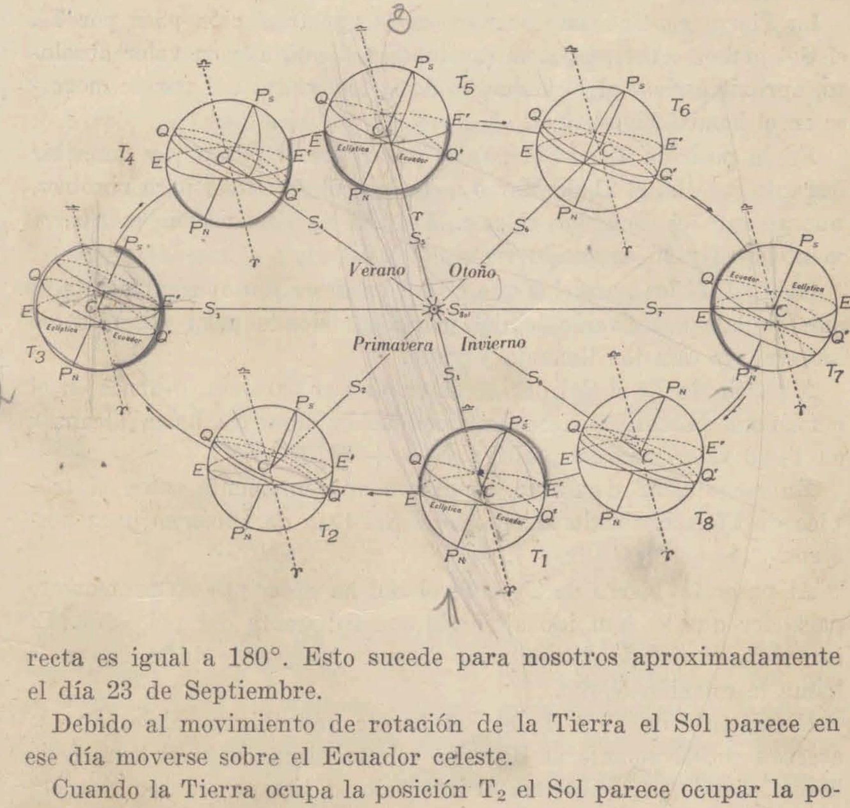
$$e = 0{,}016750 \text{ o sea aproximadamente } e \cong \frac{1}{60} = 0{,}0166\ldots$$

lo que nos dice que: *La órbita descripta por la Tierra en su movimiento alrededor del Sol, es una elipse de pequeña excentricidad,* es decir, que se aproxima mucho a una circunferencia.

106. **Las estaciones.** — Sean T_1, T_2, T_3, ... T_8 ocho posiciones de la Tierra sobre su órbita que supondremos circular, coincidiendo el Sol con el centro de la misma.

El Ecuador terrestre está representado en cada posición por el círculo máximo QQ′ que forma con el plano de la órbita de la Tierra el ángulo 23°27′ y cuyas intersecciones con la misma son los círculos EE′. Los diámetros P_S P_N perpendiculares al Ecuador representan al eje terrestre que se mantiene paralelo en todas las posiciones de la Tierra y por lo tanto sucede lo mismo con la línea γ≏ de los equinoccios.

En la posición T_1 de la Tierra, la línea de los equinoccios γ≏ pasa por el Sol y por lo tanto su declinación es nula y su ascensión



recta es igual a 180°. Esto sucede para nosotros aproximadamente el día 23 de Septiembre.

Debido al movimiento de rotación de la Tierra el Sol parece en ese día moverse sobre el Ecuador celeste.

Cuando la Tierra ocupa la posición T_2 el Sol parece ocupar la posición S_2 sobre la eclíptica; su declinación y ascensión recta han aumentado y parece moverse sobre la eclíptica EE′ en el sentido directo. Por efecto del movimiento diurno de la Tierra, el paralelo que describe aparentemente el Sol ese día, está situado en el hemisferio austral.

En T_3 el Sol parece estar en S_3, su declinación es mínima — 23°27′, y su ascensión recta 270°, luego describe aparentemente ese día, que es el 22 de Diciembre, el trópico de Capricornio, siendo la época del *Solsticio de Verano* para nosotros.

Se ve que al pasar la Tierra de T_1 a T_3, los paralelos que el Sol ha descripto aparentemente se han acercado sucesivamente al polo Sur; siendo para nosotros el intervalo de tiempo transcurrido entre esos dos pasajes la estación llamada *Primavera.*

La Tierra continuando su movimiento de traslación pasa por T_4, el Sol parece estar en S_4, su declinación disminuye en valor absoluto, aproximándose al Ecuador, es decir todavía el Sol parece moverse en el hemisferio austral.

En la posición T_5 el Sol parece pasar por el punto γ y describir durante ese día, el 21 de Marzo o *equinoccio de Otoño* para nosotros, nuevamente el Ecuador celeste. Ese día la declinación es nuevamente cero y su ascensión recta 360°.

De T_3 a T_5 los paralelos que el Sol ha descripto aparentemente se han alejado sucesivamente del polo Sur, siendo para nosotros ese intervalo la estación llamada Verano.

A partir de T_5 el Sol parece describir sus paralelos diurnos en el hemisferio boreal, es decir su declinación aumenta hasta alcanzar en T_7 su valor máximo positivo $\delta = + 23°27'$.

En ese día, 22 de Junio, se mueve aparentemente sobre el trópico de Cáncer. siendo la época del *Solsticio de Invierno* para nosotros.

Al pasar la Tierra de T_5 a T_7 el Sol ha descripto aparentemente paralelos que se han ido alejando sucesivamente del polo Sur. El intervalo de tiempo transcurrido durante ese pasaje de la Tierra se llama la estación *Otoño.*

Finalmente de T_7 a T_1 el Sol parece describir paralelos que se acercan sucesivamente al Ecuador celeste, situados en el hemisferio boreal, siendo para nosotros el intervalo de tiempo transcurrido entre esos dos pasajes la estación llamada *Invierno.*

Después de alcanzar la posición T_1 se repiten en el mismo orden los fenómenos que acabamos de explicar.

107. **Duración de las estaciones.** — Habíamos visto que la Tierra empleaba un año en recorrer su órbita y que ese intervalo de tiempo estaba dividido en cuatro partes llamadas *estaciones*: *Otoño,*

Invierno, Primavera y *Verano,* cuyas duraciones están dadas por el tiempo transcurrido entre el paso aparente del Sol del equinoccio γ al solsticio σ, de éste al equinoccio ≏, de éste al solsticio σ y de σ al equinoccio γ respectivamente.

Como la línea de los ~~equinoccios~~ solsticios no coincide con la de los ápsides, como se ha demostrado anteriormente (nº 72), y la línea de los ~~solsticios~~ equinoccios es perpendicular a la primera, las cuatro regiones en que queda dividida la elipse por estas rectas, son desiguales y por lo tanto también lo son los tiempos empleados por el radio vector Sol-Tierra en barrer las superficies de esas regiones, vale decir, la *duración de las estaciones.*

Como para el año 1931 el equinoccio de Otoño tiene lugar el día 21 de Marzo a las 10 h, el solsticio de Invierno el 22 de Junio a las 5 h, el equinoccio de Primavera el 23 de Septiembre a las 20 h y el solsticio de Verano se verifica el 22 de Diciembre a las 15 h (*) resulta que las estaciones tienen la siguiente duración:

Otoño	92	días	19	horas
Invierno	93	»	15	»
Primavera	89	»	19	»
Verano	89	»	1	»

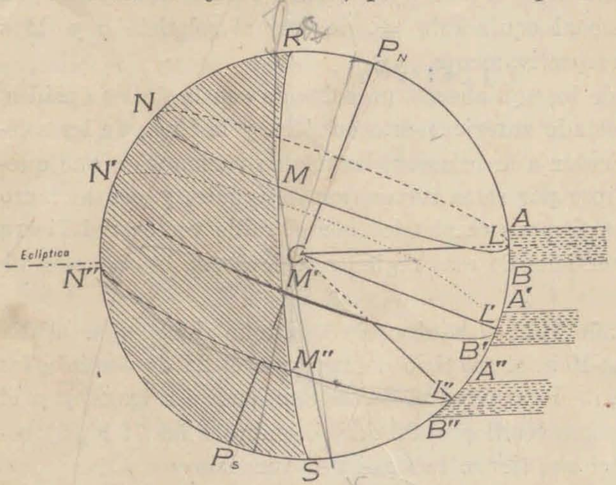
108. **Temperatura de las estaciones.** — Vamos a ver que en base al movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, del paralelismo de su eje durante el mismo, y de su inclinación respecto del plano de su órbita, pueden explicarse las variaciones regulares de la cantidad de calor que recibe del Sol una determinada región de la Tierra, durante un año.

Para una posición cualquiera del Sol los rayos que parten de él alumbran un solo hemisferio terrestre.

Como el eje de la Tierra es oblicuo al plano de la eclíptica, resulta

(*) Estos datos han sido tomados del «*Manual del aficionado*» para el año 1931, del Astrónomo señor D. Alfredo Völsch.

que cuando el Sol no está en el Ecuador el círculo de iluminación no contiene al eje terrestre, por lo tanto para todo punto de la Tierra que no pertenezca al Ecuador, son desiguales los tiempos en que permanece en el hemisferio iluminado, y en el obscuro. Por esa razón, en todos los lugares pertenecientes al hemisferio en que se encuentra el Sol, los días son más largos que las noches.



Siendo distintos los tiempos en que una misma parte de la superficie terrestre está expuesta a los rayos solares, son también distintas las cantidades de calor que recibe.

Si se toma como unidad la cantidad de calor recibida en las 24 h del día de un equinoccio, resulta que cuando el Sol se encuentra en el hemisferio Sud, los lugares de la Tierra de ese hemisferio reciben una cantidad mayor que la unidad, pues en esa época los días son más largos que la noche.

Además como en la mencionada época la altura del Sol es mayor que en la de los equinoccios, un haz de rayos solares de una determinada sección, se extenderá sobre una superficie menor a medida que los rayos caigan con menor oblicuidad sobre la misma, como indica la figura.

De acuerdo con esto resulta que para nosotros a medida que el Sol se aleja del Ecuador acercándose al trópico de Capricornio, la cantidad de calor que recibimos de él aumenta rápidamente, hasta alcanzar su máximo en el solsticio de Verano.

Conviene hacer notar que como el calor absorbido por el suelo durante el día se pierde en parte en la noche, es necesario que transcurra cierto tiempo para que sea mayor la cantidad absorbida que la irradiada, lo que sucede a fines de Enero.

Recíprocamente, cuando el Sol se aleja del Ecuador hacia el trópico de Cáncer, en nuestra latitud los días son más cortos que las noches y la oblicuidad de los rayos solares aumenta, por lo que la cantidad de calor recibida diariamente es menor que la unidad.

La temperatura de una determinada región depende, además, de otros factores distintos de los señalados, como ser vientos, corrientes marinas, etc., las que varían mucho de un año a otro y hacen difícil su determinación mediante cálculos astronómicos exclusivamente.

IX X

109. **Precesión de los equinoccios.** — Habíamos dicho al tratar las coordenadas eclípticas (nº 50) que ese sistema había permitido descubrir un movimiento del plano del Ecuador respecto del de la eclíptica, y que se evidenciaba por una rotación de la línea γ♎ de los equinoccios en sentido retrógrado.

Efectivamente: la observación anual de las posiciones de las estrellas, demuestra que éstas tienen ligeros movimientos que en el sistema de coordenadas eclípticas, en una primera aproximación, están caracterizadas por las siguientes condiciones:

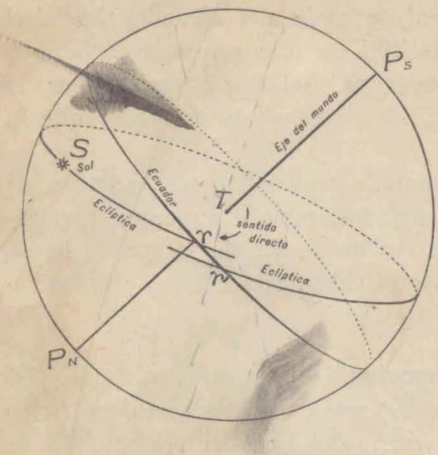
1º *Las estrellas conservan constantes sus latitudes celestes.*

2º *Aumentan anualmente sus longitudes en 50″,26* aproximadamente o sea que al cabo de 26000 años sus longitudes se han incrementado en 360°.

Se ha explicado este movimiento aparente, suponiendo que el eje de la Tierra $P_S P_N$ se mueve con respecto al de la eclíptica $\pi\pi'$ supuesto fijo, engendrando dos conos opuestos por el vértice cuyas directrices son las circunferencias descriptas por los polos P_S y P_N alrededor de los de la eclíptica, en sentido retrógrado y a razón de 50″,26 por año.

Como en este movimiento el Ecuador se conserva perpendicular al eje de la Tierra, la línea de los equinoccios γ♎ que es la intersección del Ecuador y de la eclíptica, variará de una posición γ♎ a otra γ'♎$'$ describiendo un ángulo igual a 50″,26, es decir, *retrogradará* anualmente un arco $\gamma\gamma' = 50''{,}26$.

Como el año trópico es el número de días y fracción transcurridos para que el Sol vuelva a pasar por el punto γ, y este punto se ha trasladado en ese intervalo de la posición γ a la γ' en sentido contrario al del movimiento del Sol, éste lo encontrará antes de lo que debería haberlo hecho si el punto γ hubiese permanecido fijo.



Por esta razón a ese movimiento del punto γ se le llama *precesión de los equinoccios.*

MOVIMIENTO DEL PUNTO γ A TRAVÉS DEL ZODÍACO. — De acuerdo con ese movimiento del punto Vernal, resulta que éste varía su posición con respecto a las estrellas y va recorriendo las constelaciones de Zodíaco.

En efecto: se sabe que hace unos 2000 años, en tiempos de Hiparco, el punto γ estaba situado en la constelación Aries que es la primera de esa zona, en cambio en la actualidad se encuentra en la de Peces que es la última, lo que prueba que ha retrocedido cerca de $28° = 50'',26 \times 2000$.

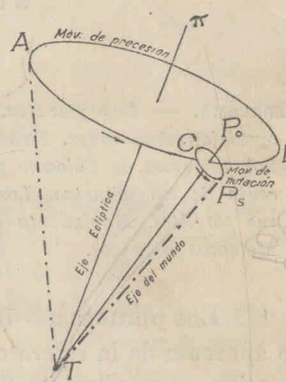
MOVIMIENTO DE LOS POLOS CELESTES. — De acuerdo con lo dicho respecto del movimiento de los polos terrestres, resulta que el eje del mundo también describe dos conos alrededor del eje de la eclíptica que tienen por directrices las circunferencias descriptas por los polos celeste P_N y P_S alrededor de los de la eclíptica y a razón de 50'',26 por año.

En efecto: se sabe que hace unos 4000 años la estrella más próxima al polo Norte era α del Dragón, en cambio actualmente lo es α de la Osa menor que se la conoce con el nombre de *Estrella Polar.*

En el hemisferio Sud actualmente la estrella más próxima al Polo Sud es σ Octantis que dista de él menos de 1°.

110. **Nutación.** — Habíamos dicho que como primera aproximación podía admitirse que la latitud celeste de una estrella permanecía constante y que solo variaba su longitud de 50″,26 por año, debido a la precesión de los equinoccios.

Eso es sólo una aproximación, pues el eje terrestre está animado además de otro movimiento, que consiste en un balanceo alrededor de su posición media, por el cual describe, alrededor de esa posición, dos conos opuestos por el vértice de directrices elípticas y cuyos ejes mayores están dirigidos hacia el polo de la eclíptica y que se ven desde el centro de la Tierra bajo un ángulo de 18″ aproximadamente.



Este movimiento que se efectúa en sentido retrógrado, tiene una duración aproximada de 18 años y trae como consecuencia ligeras variaciones en los valores de las coordenadas de las estrellas, de la posición del punto Vernal y de la oblicuidad de la eclíptica.

La figura adjunta da una idea del movimiento real del eje terrestre cuando se consideran conjuntamente la precesión y la nutación.

Causas de la precesión y de la nutación. — La mecánica celeste prueba que los fenómenos de la precesión y de la nutación, son causados por las atracciones del Sol y de la Luna sobre el hinchamiento ecuatorial terrestre, pues si la Tierra fuese esférica dichas atracciones se podrían suponer aplicadas en su centro y por lo tanto no habría ningún cambio sobre el paralelismo de su eje en el movimiento de traslación.

La forma real de la Tierra hace que dichas fuerzas actúen en puntos diversos del centro, dando lugar a *pares de fuerzas* que son los que producen los movimientos explicados anteriormente.

CAPITULO XIII

SISTEMA SOLAR

PROGRAMA. — *Los planetas. Planetas inferiores y superiores. Conjunción y oposición. Los nodos. Fases de un planeta. Revolución sideral. Distancias al Sol. Sistemas de Tolomeo y de Copérnico. Leyes de Kepler. Movimiento aparente de los planetas. Los satélites. Particularidades sobre los planetas y sus satélites. Movimiento de los cometas. Reseña sobre los más conocidos. Meteoros cósmicos.*

112. **Los planetas.**— Recordemos que las estrellas en el movimiento aparente de la esfera celeste conservan entre sí la misma posición relativa, puesto que su distancia angular es constante.

La observación del cielo durante algunas noches nos revela la existencia de otros astros que aunque tienen el aspecto de estrellas, se mueven en el cielo respecto de ellas, vale decir, tienen *movimiento propio.* Esos astros son los llamados *planetas* (astros errantes) y se distinguen de las estrellas porque tienen *diámetro aparente,* es decir, al observarlos con anteojos de aumento creciente, aparecen bajo la forma de discos cuyos diámetros aumentan con el poder del anteojo. Se los distingue, además, porque la luz de los mismos no presenta, en general, *centelleo.*

Si se miden los diámetros aparentes de los planetas, y se calculan en base a ellos las distancias de los mismos al Sol, se llega a la conclusión de que todos los planetas describen órbitas planas de forma elíptica (aproximadamente circulares) en las que el Sol ocupa uno de sus focos.

Se ha determinado, también, que los planos de dichas órbitas forman, en general, con el de la eclíptica ángulos menores de 8°, por lo cual resulta que todos los planetas se mueven dentro de la zona del Zodíaco. Además dichos movimientos se efectúan, como el del Sol, en *sentido directo,* lo que también sucede con la mayoría de sus satélites.

Los planetas conocidos son, nombrados en orden creciente de sus distancias al Sol:

Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Planetas telescópicos, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno, y, de acuerdo con las investigaciones más recientes, *Plutón.*

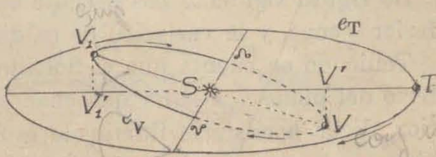
113. **Planetas inferiores y superiores.** — Se llaman *planetas inferiores* a aquellos cuyas órbitas cortan al plano de la de la Tierra, en puntos interiores a dicha órbita y *planetas superiores* a los restantes.

Mercurio y Venus son los únicos planetas inferiores conocidos, y se caracterizan por el hecho de que acompañan siempre al Sol sin separarse de él de una distancia angular mayor que 50°.

Antiguamente se creyó en la existencia de un planeta intermercurial, es decir, cuya órbita fuera interior a la de Mercurio, pero los telescopios modernos más potentes no han podido hallar ningún indicio del mismo, lo que hubiese sucedido de tener dicho planeta un diámetro de tan solo 50 Km.

En la actualidad se asegura que dicho planeta no existe, porque las perturbaciones notadas en la órbita de Mercurio debían ser producidas por un astro cuyas dimensiones menores serían, por lo menos, de 150 Km.

114. **Conjunción y oposición.** — Sea V un planeta inferior, Venus por ejemplo, y T la Tierra. Llamemos S al Sol, e_V y e_T a las órbitas de Venus y de la Tierra, respectivamente. Como los planetas recorren sus órbitas con velocidades distintas, resulta que un planeta y la Tierra pueden encontrarse ocupando posiciones cualesquiera con respecto al Sol.



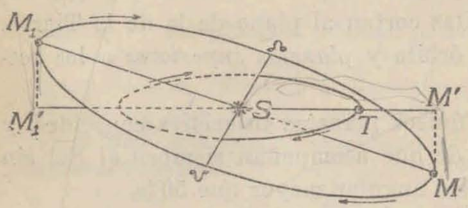
Dos de esas posiciones relativas reciben nombres particulares de acuerdo con la siguiente:

S T

P T

Definición. — Se dice que un planeta inferior está en *conjunción inferior* o *superior* con respecto a la Tierra, cuando la proyección de la semirrecta Sol-planeta sobre el plano de la eclíptica, coincide o es opuesta, respectivamente, con la semirrecta Sol-Tierra. En la figura anterior la posición V corresponde a la conjunción inferior y la V_1 a la conjunción superior de Venus.

Definición. — Se dice que un planeta superior está en *oposición* con respecto a la Tierra, cuando la proyección de la semirrecta Sol-planeta sobre el plano de la eclíptica, coincide con la semirrecta Sol-Tierra y que están en *conjunción* cuando dichas semirrectas resultan opuestas.



En la figura la posición M corresponde a la oposición y la M_1 a la conjunción.

115. **Nodos.** — Definición. — Se llaman *nodos* de la órbita de un planeta, a los puntos de intersección de dicha órbita con el plano de la eclíptica.

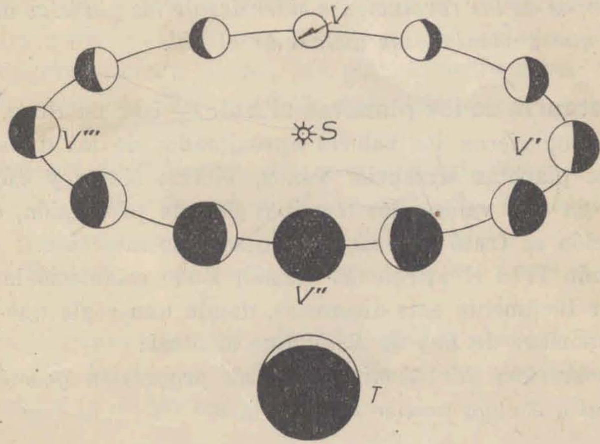
Se llama *nodo ascendente* al que corresponde al paso del planeta del hemisferio Sud al Norte y *descendente* al otro.

En las figuras ☊ es el nodo ascendente y ☋ el descendente de las órbitas de los planetas considerados.

116. **Fases de un planeta.** — Los planetas inferiores observados desde la Tierra con un telescopio, presentan variaciones en la parte de disco iluminado, que se conocen con el nombre de *fases*. La figura siguiente nos permite observar las fases del planeta inferior Venus, y la variación de su diámetro aparente.

Teniendo en cuenta que el Sol ilumina constantemente un hemisferio del planeta, resulta que cuando éste está en conjunción superior, dicho hemisferio iluminado está dirigido hacia la Tierra, y el planeta se presenta al observador como un disco V totalmente iluminado (Venus *lleno*).

Por el contrario en la conjunción inferior el hemisferio iluminado estaría dirigido hacia el Sol y por lo tanto el planeta se presenta como un disco V″ totalmente en sombra (Venus *nuevo*).



En las posiciones intermedias, tal como V′, entre la primera y la segunda, el observador ve solamente una porción del hemisferio iluminado, bajo la forma de cuerno que va disminuyendo de anchura a medida que se acerca a la segunda posición. Lo contrario sucede en las posiciones tales como V‴ entre el planeta nuevo y el lleno.

117. **Revolución sideral.** — Se llama *tiempo de una revolución sideral de un planeta,* al intervalo transcurrido para que recorra su órbita completa.

El estudio de los tiempos en que los planetas efectúan sus revoluciones siderales, ha permitido determinar los siguientes valores expresados en días siderales enteros:

Mercurio . .	88 días		
Venus	225 »		
Tierra	366 » = 1 año		
Marte	aproximadamente	2	años
Júpiter . . .	»	12	»
Saturno . . .	»	29	»
Urano	»	84	»
Neptuno. . .	»	165	»
Plutón. . . .	»	250	»

Como estos planetas están dados en orden creciente de sus distancias al Sol, se deduce que:

Los tiempos de las revoluciones siderales de los planetas aumentan a medida que aumentan sus distancias al Sol.

118. **Distancia de los planetas al Sol.** — LEY DE BODE. — Desde que se conocieron los valores aproximados de las distancias al Sol, de los planetas Mercurio, Venus, Tierra, Marte y Júpiter, se creyó ver en esos valores los términos de una progresión, cuya ley de formación se trató de encontrar desde ese momento.

En el año 1778 el astrónomo alemán Bode estableció la manera de deducir fácilmente esas distancias, dando una regla que se conoce con el nombre de *Ley de Bode*, que dice así:

1º *Se escriben los términos de una progresión geométrica de razón igual a 2 cuyo primer término es 3*

3, 6, 12, 24, 48, 96, 192 384, 768

2º *Se le suma 4 a cada uno de estos números y se escribe el número 4 a la izquierda del primero*

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, 388, 772

3º *Se dividen cada uno de estos números por 10*

0,4, 0,7, 1, 1,6, 2,8 5,2, 10, 19,6 38,8 77,2

4º *Los números así obtenidos expresan aproximadamente las distancias de los planetas al Sol, tomando como unidad la de la Tierra a éste. Los verdaderos valores medios son:*

0,39	0,72	1	1,52	2,65	5,20	9,54	19,19	30,07	40
Mercurio	Venus	Tierra	Marte	Planetoides	Júpiter	Saturno	Urano	Neptuno	Plutón

Esta ley que es empírica, adquirió un gran valor por el hecho de que el descubrimiento de los planetoides y el del planeta Urano hechos posteriormente al enunciado de la misma, la confirmaron, puesto que el número 2,8 da la *distancia media* de los planetoides al Sol, y el término 19,6 da la de Urano.

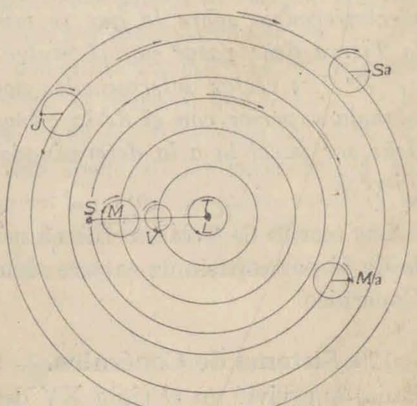
En cambio los números 38,8 y 77,2 que se obtienen de acuerdo con esa ley para las distancias medias de los planetas Neptuno y Plutón, respectivamente, al Sol, son mucho mayores que los verdaderos valores medios 30,07 y 40 de esas distancias.

119. **Sistema de Tolomeo.** — La explicación racional del movimiento de los astros ha necesitado, como todos los conocimientos humanos, numerosas tentativas hechas durante siglos y que por sucesivas aproximaciones han permitido alcanzar un resultado satisfactorio.

Daremos algunas nociones sobre dos de los *sistemas planetarios*, precursores de las Leyes de Kepler que explican satisfactoriamente el movimiento de los cuerpos celestes.

Sistema de Tolomeo. — Tolomeo, astrónomo de la Escuela de Alejandría que vivió en el siglo II, A. J. C., explicaba el movimiento de los astros en la siguiente forma:

Suponía que la Tierra era el centro del sistema planetario y que el Sol y la Luna describían circunferencias con movimiento uniforme (se consideraba en esa época que el meridiano circular uniforme era la representación de la perfección) alrededor de la misma, al cabo de intervalos de tiempo iguales a un año sidereo y a un mes respectivamente.



Para explicar el movimiento de los planetas Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno supuso que éstos estaban aproximadamente en un mismo plano y describían *epicicloides*, que son las curvas que dibuja un punto que se mueve sobre una circunferencia cuyo centro describe a su vez otra circunferencia.

Así, para explicar el movimiento de los planetas inferiores; Mercurio y Venus, (los designamos en la figura con las letras M y V respectivamente) suponía que éstos se movían con movimiento uniforme describiendo circunferencias alrededor de dos puntos, dando una vuelta completa al cabo de 88 días el primero y 225 días el segundo, y que en esos intervalos de tiempo, esos centros describían, también con movimiento uniforme, circunferencias que tenían por centro al de la Tierra.

Esos movimientos se llevaban a cabo en forma tal que las semirrectas que pasaban por el centro de la Tierra y por el de las circunferencias descriptas por los planetas inferiores, contuvieran siempre al centro del Sol.

El movimiento de los planetas superiores quedaba también explicado suponiendo que ellos describían epicicloides, pero con la condición de que el radio que unía el centro del planeta *Sa* (Saturno p. ej.) con el de la circunferencia sobre la cual se movía, fuese constantemente paralelo al ST que unía el centro de la Tierra con el del Sol.

En resumen en el sistema de Tolomeo el movimiento de los planetas estaba sujeto a las siguientes leyes:

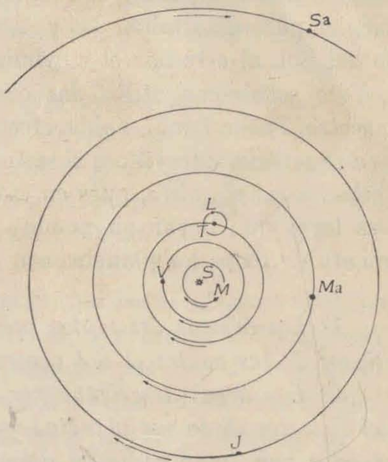
1º *Las rectas determinadas por cada posición del centro de la circunferencia sobre la que se mueve un planeta inferior y el de la Tierra debe pasar por el centro del Sol.*

2º *Las rectas determinadas por cada posición del centro de un planeta superior con el de la circunferencia sobre la que se mueve, debe ser paralela a la determinada por los centros del Sol y de la Tierra.*

Las teorías de Tolomeo fueron aceptadas y enseñadas como artículo de fé por espacio de catorce siglos hasta que se enunciaron las de Copérnico.

120. **Sistema de Copérnico.** — Se debe a este astrónomo de Polonia, que vivió en el siglo XV de nuestra era, la primera concepción *heliocéntrica* del sistema planetario.

Explicaba el movimiento de los planetas, suponiendo que el Sol permanecía inmóvil y que la Tierra y los demás planetas giraban de O. a E. alrededor de él, describiendo circunferencias. La Luna giraba alrededor de la Tierra como un satélite de ésta.



Admitió, además, que la Tierra giraba alrededor de su eje, y con eso pudo explicar satisfactoriamente el movimiento aparente de las estrellas.

A pesar de que la teoría de Copérnico explicaba el movimiento de los astros de una manera mucho más sencilla que la de Tolomeo, sus ideas fueron combatidas, pues como es fácil reconocer, debieron chocar con las sostenidas durante catorce siglos.

Es digno de hacer notar que las objeciones que se le hicieron a sus concepciones, pudieron ser refutadas años más tarde, en 1580, gracias al invento del anteojo astronómico hecho por Galileo.

Con la ayuda de ese instrumento pudieron ser observadas las fases de Venus que no eran visibles a simple vista, y que según decían los opositores del sistema de Copérnico, debía presentar ese planeta por analogía a lo que sucedía con la Luna por girar alrededor de la Tierra. Fueron también descubiertos por Galileo, cuatro de los satélites de Júpiter, que sirvieron para destruir la objeción que se hacía de la complejidad del movimiento de la Luna en el sistema de Copérnico. La observación, por el mismo astrónomo, de las manchas del Sol sirvieron, como vimos en su oportunidad (nº 83), para explicar la rotación del Sol y poder aceptar, por analogía, la de la Tierra, de la que no se había dado ninguna prueba y que no era admitida por los enemigos de Copérnico.

121. **Leyes de Kepler.** — La hipótesis del movimiento circular uniforme de los planetas alrededor del Sol sentada por Copérnico, presentaba una contradicción en el caso del movimiento de la Tierra, pues de acuerdo con esa hipótesis resultaba inexplicable la desigualdad de las estaciones.

Copérnico trató de justificar este hecho suponiendo que el centro de la órbita terrestre no era el Sol, sino otro punto distinto.

Esta nueva hipótesis fué tomada como primera aproximación por Kepler para determinar las posiciones que ocupaba la Tierra respecto del Sol, al estudiar el movimiento del planeta Marte.

Este astrónomo utilizó las observaciones de ese planeta, que su maestro Tycho-Brahé había efectuado durante más de 30 años, con una exactitud maravillosa si se tiene en cuenta que todas ellas fueron hechas a *simple vista*, pues en esa época no se conocían los anteojos. Las leyes que llevan su nombre y que son las que rigen el movimiento de todos los planetas son las tres siguientes:

1º *Las órbitas descriptas por los planetas alrededor del Sol son elipses de las cuales el Sol ocupa uno de sus focos.*

2º *Las áreas descriptas por el radio vector que une el centro del Sol con el de un planeta, son proporcionales a los tiempos empleados por dicho radio en describirlas.*

3º *Los cuadrados de los tiempos de las revoluciones de dos planetas están entre sí como los cubos de los ejes mayores de sus órbitas.*

Observaciones. — Respecto de la primera ley conviene tener en cuenta que las elipses son de pequeña excentricidad, vale decir, se asemejan mucho a una circunferencia.

La segunda ley, llamada también ley de las áreas, se suele expresar así:

Las velocidades areales de los planetas son constantes.

En la tercera ley en lugar de tomar los semiejes mayores de las órbitas se pueden considerar las distancias medias al Sol. Llamando T_1 y T_2 los tiempos empleados en la revolución de dos planetas cuyas distancias medias al Sol son d_1 y d_2 respectivamente, se puede expresar en símbolos la tercera ley, en la siguiente forma:

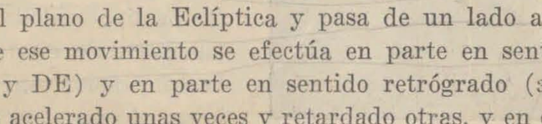
$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}$$

Para terminar diremos que fué el sabio Isaac Newton el que determinó la causa por la cual los planetas se mueven de acuerdo con las leyes descubiertas por Kepler, como consecuencia de un único principio dinámico que se conoce con el nombre de *ley de gravitación universal* y que se enuncia así:

Dos cuerpos se atraen con una fuerza que es proporcional a sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias.

Fundándose en la ley de gravitación se descubrieron *mediante el cálculo,* la existencia de dos planetas, Urano y Plutón, como veremos al tratar las características de cada planeta.

122. **Movimiento aparente de los planetas.**—Habíamos visto que los planetas describen órbitas elípticas de las que el Sol ocupa uno de sus focos. Sin embargo si un observador provisto de un anteojo meridiano, de un ecuatorial y de un reloj sideral, determina para cada día el valor de la ascensión recta y de la declinación de un planeta, y fija sobre una pizarra esférica, con la ayuda de esas coordenadas, la posición de dicho planeta y une las posiciones sucesivas, obtiene una curva sinuosa como la de la figura.



Dicha curva nos muestra que el planeta se mueve en las proximidades del plano de la Eclíptica y pasa de un lado a otro de la misma; que ese movimiento se efectúa en parte en sentido directo (arcos BC y DE) y en parte en sentido retrógrado (arcos AB y CD) siendo acelerado unas veces y retardado otras, y en ciertos puntos C, D, su velocidad parece anularse. Dichos puntos se llaman *estaciones* del planeta.

La curva que hemos descripto corresponde al *movimiento aparente* de un planeta, es decir, al que resulta de componer su movimiento propio, que como vimos se efectuaba alrededor del Sol, con el de la Tierra que también se efectúa alrededor de dicho astro, y referir el movimiento resultante al centro de la Tierra.

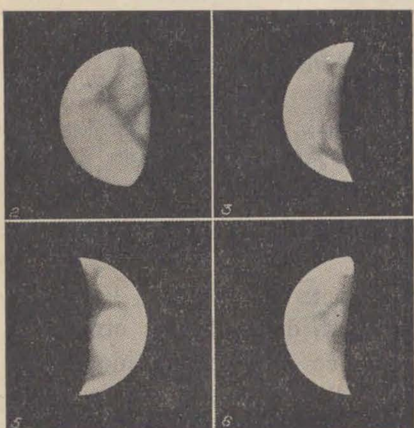
123. **Los satélites.** — Se llaman satélites de un planeta a los astros que giran alrededor del mismo.

Todos los planetas superiores tienen satélites que describen elipses de las cuales cada planeta ocupa uno de los focos. El número de satélites de cada planeta es variable, como veremos al estudiar las particularidades de cada uno. Los planetas inferiores carecen de satélites.

124. **Particularidades sobre los planetas y sus satélites.**— Veremos a continuación algunas particularidades de los planetas y sus satélites.

125. **Mercurio.** — Generalidades. — Es el planeta inferior más próximo al Sol. Como la distancia angular (digresión) entre Mercurio y el Sol, observados desde la Tierra, varía entre 18° y 28°, resulta que este planeta está envuelto por la luz solar, siendo por ello difícilmente visibles en ciertas ocasiones.

Los momentos más oportunos para observarlo son, antes de la salida o poco tiempo después de la puesta del Sol.



Fotografías de Mercurio tomadas por Pickering en 1892. por Comás Solá en 1900, y Rudeaux en 1898 y 1925.

Cuando alcanza su mayor elongación es fácilmente visible a simple vista desde que su brillo varía, según las circunstancias, desde la magnitud —1 a +1, aproximadamente.

Como hemos indicado anteriormente, este planeta tiene la particularidad de presentar fases. En ciertas ocasiones la conjunción inferior tiene lugar al encontrarse Mercurio en el plano de la eclíptica, y al interponerse entre la Tierra y el Sol, aparece proyectado sobre el disco solar como una pequeña mancha obscura, que atraviesa lentamente dicho disco.

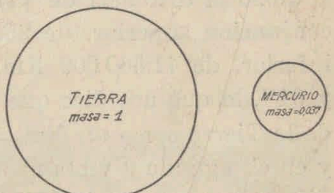
Este fenómeno tiene lugar unas 12 veces por siglo y los valores que se miden durante su observación sirven para determinar con precisión la órbita del planeta.

Órbita. — La órbita de Mercurio es, como la de todos los planetas, una elipse, pero como su excentricidad es 0,2 resulta que es la que más se aparta de la forma circular, excepto la del nuevo planeta Plutón. Mercurio tarda 88 días siderales en recorrer su órbita, y como emplea ese mismo tiempo en girar alrededor de su eje, resulta que, como en el caso de la Luna, que veremos más adelante, dirige siempre el mismo hemisferio al Sol.

La distancia de Mercurio al Sol varía entre un máximo (*afelio*) de 59 000 000 Km y un mínimo (*perihelio*) de 45 000 000 Km. La distancia media es de 0,39 unidades astronómicas. El diámetro aparente varía desde 5″ a 13″ y su valor medio es para un observador terrestre de 6″,7.

La inclinación del plano de esta órbita sobre el de la eclíptica es de 7°. Dicha órbita tiene la particularidad de girar sobre sí misma, pues se ha comprobado que el perihelio de Mercurio avanza una pequeña cantidad que mediante el cálculo se determinó que era de 43″ por siglo. Es conveniente hacer notar que este fenómeno del avance del perihelio de Mercurio, no pudo ser explicado en base a la ley de gravitación de Newton. Con la *Teoría de la Relatividad* del sabio alemán Alberto Einstein se ha encontrado la primera explicación satisfactoria de ese fenómeno.

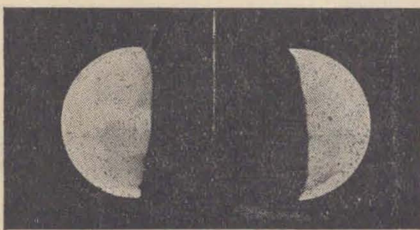
Dimensiones. — El diámetro real de Mercurio es de 4800 Km; es decir, poco más o menos 0,379 del diámetro terrestre, su masa es 0,037 de la masa de la Tierra y su densidad es 0,67 de la de este planeta o sea 4 veces mayor que la del agua.



El calor que recibe Mercurio del Sol es, por unidad de superficie, seis veces mayor que el que recibe la Tierra del mismo astro, de manera que si Mercurio tuviese atmósfera tendría que ser sumamente tenue y la superficie del hemisferio expuesto al Sol tendría una temperatura de unos 350° C.

126 **Venus.** — Generalidades. — Es el otro planeta inferior. Es el más próximo a la Tierra, pero, como Mercurio, se aparta poco del Sol, siendo su digresión máxima de 48°.

Algún tiempo antes de la salida del Sol se puede observar, de tiempo en tiempo, en los puntos del horizonte por donde debe levantarse ese astro, a la hermosa estrella de gran brillo que se conoce con el nombre de *estrella de la mañana*, y otras veces, después de transcurrido cierto tiempo desde la puesta del Sol, se ve, en los puntos por donde ha desaparecido ese astro, una estrella muy brillante llamada *estrella de la tarde* o del *Pastor*.



Fotografías de Venus tomadas por Schiaparelli en 1895 y L. Berget en 1897.

La estrella de la mañana y la de la tarde son un mismo astro. Es el planeta Venus.

En ciertas épocas Venus alcanza su brillo máximo, — 4,3 de magnitud, y es posible observarlo durante el día sin ayuda de instrumentos, y verle recorrer su arco diurno sobre la esfera celeste.

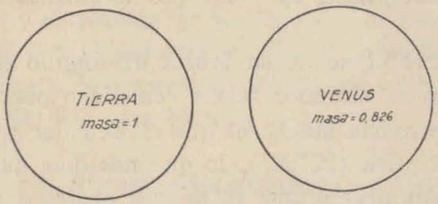
Órbita. — La órbita de Venus es, aproximadamente, una circunferencia, pues su excentricidad es muy pequeña $e = 0{,}006$. Su distancia media al Sol es de 0,72 unidades astronómicas. Este planeta tarda 225 días en recorrerla.

Como la distancia de Venus a la Tierra varía entre un máximo, conjunción superior, de 256 000 000 Km y un mínimo, conjunción inferior, de 41 600 000 Km, su diámetro aparente varía entre 10″ y 64″, lo que nos dice que en el primer caso ese planeta se ve desde la Tierra como un disco 180 veces menor que el de la Luna llena y en el segundo 9 veces menor. A la distancia media corresponde un diámetro aparente de 16″,9.

El plano de la órbita de Venus forma con el de la eclíptica un ángulo 3°23′.

Dimensiones. — El diámetro real de Venus es de 12 300 Km o sea aproximadamente igual al de la Tierra, 0,954 del diámetro terrestre, su masa es 0,86 de la de ese planeta y su densidad 0,940 o sea 5 veces mayor que la del agua.

Cuando la conjunción inferior se produce en ocasión en que Venus está en el plano de la eclíptica (cosa que sucedió en el año 1882 y no se repetirá hasta el año 2004) se ve a dicho planeta proyectarse sobre el Sol en forma de un pequeño disco negro semejante a una mancha solar que atraviesa el disco.



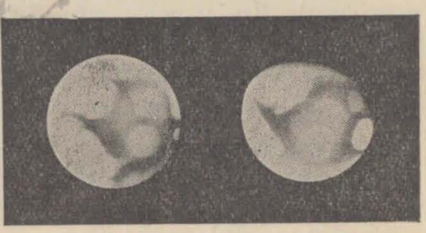
En el año 1882 se pudo ver a Venus rodeado de un anillo nebuloso que se destacaba sobre el disco negro. Cuando parte del planeta ya había salido del disco solar, la porción de anillo que rodeaba al disco emergido era luminosa. Esta doble observación ha hecho suponer que Venus posee una atmósfera constituída por una espesa capa de nubes.

127. **Marte.** — GENERALIDADES. — Es un planeta superior. El primero que se encuentra después de la Tierra yendo desde el Sol hacia Neptuno.

Este planeta se presenta a simple vista como la estrella más roja del cielo, siendo sus fases muy poco sensibles.

Seguramente debido a su color y a su brillo, que es a veces más grande que el de la estrella más brillante, se atribuyeran antiguamente a su presencia, la causa de todos los males que afligían a la humanidad y fuera considerado el Dios de la guerra, símbolo de la destrucción.

Como en su aspecto general este planeta se asemeja mucho a la Tierra se ha creído en la posibilidad de que estuviese habitado, pero todavía no se ha podido dar la última palabra al respecto.



Fotografías de Marte tomadas por L. Rudeau en 1894

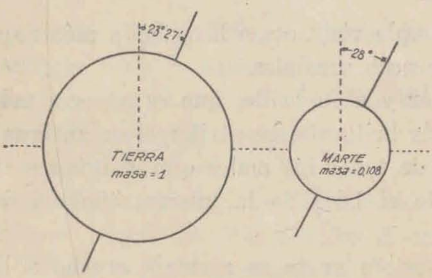
ORBITA. — Es una elipse de $e = 0,093$ de excentricidad. La distancia de Marte al Sol es de 1,52 unidades astronómicas y tarda 687 días, 2 años aproximadamente, en recorrer su órbita.

El valor medio del diámetro aparente es 6″,29. Su brillo también varía con la distancia desde la magnitud — 2,8, vale decir más brillante que la estrella más brillante, hasta la — 1,1 que no alcanza el brillo de Sirio.

El eje de Marte forma con el plano de su órbita un ángulo de aproximadamente 61°12′, luego su Ecuador forma con dicho plano un ángulo de 25°16′ que se aproxima mucho al que el Ecuador terrestre forma con el de la Eclíptica (23°27′), lo que nos dice que en el planeta considerado deben presentarse estaciones análogas a las de la Tierra salvo, claro está, en cuanto a su duración, pues, el año martiano es de 680 días.

Marte emplea 24 h 37 min 22 seg 58 en efectuar su rotación alrededor de su eje, lo que nos dice que el día martiano tiene una duración casi igual a la del terrestre, lo que también trae como consecuencia la semejanza que sobre las estaciones hicimos notar más arriba.

Dimensiones. — El diámetro real de Marte es de 6744 Km, es decir, aproximadamente igual a la mitad del de la Tierra, su masa es 0,108 de la terrestre y su densidad es 0,72, vale decir 4 veces mayor que la del agua.



Observado con un telescopio Marte presenta manchas obscuras, unas azuladas y otras rojizas. Se ha creído ver en las primeras los mares de ese planeta y en las segundas los continentes. En los polos se pueden ver nítidamente manchas blancas cuyo tamaño desigual varía con las estaciones. Se asegura que esas manchas están formadas por el hielo de los casquetes polares. La presencia del agua y de la nieve se explican de acuerdo con los últimos descubrimientos por el hecho de que Marte está rodeado de una atmósfera análoga a la nuestra.

Satélites. — Desde el año 1877 se conocen dos satélites del planeta Marte, que se distinguen con los nombres de *Deimos* (terror) y *Phobos* (miedo).

Estos satélites son de pequeñas dimensiones; el primero tiene un diámetro de 16 Km y el segundo uno de 8 Km. Recorren elipses en que el planeta ocupa uno de los focos. El primero la describe en 30 h y el segundo en 7 h 39 min. La distancia media de los satélites a la superficie de Marte es de 24000 Km para Deimos y 6400 Km para Phobos.

128. **Planetas telescópicos.** — Habíamos dicho (nº 118), que desde que se conocieron aproximadamente las distancias de los primeros planetas al Sol, se creyó ver en esos valores los términos de una ley que los ligaba, pero como entre las órbitas de Marte y Júpiter el espacio era tan desproporcionado que esa ley fallaba, se supuso la existencia de un nuevo planeta que se moviera entre los citados.

La ley de Bode, enunciada en 1778, que expresaba casualmente la relación buscada y la confirmación de su gran aproximación por el descubrimiento de Urano, hecho tres años más tarde, llevaron la convicción de la existencia de un nuevo planeta cuya distancia al Sol correspondía al término 2,8 de esa ley o sea que se encontraría a 2,8 veces la distancia Sol-Tierra contada a partir de ese astro.

En el año 1801 el astrónomo italiano Piazzi, mientras observaba en Sicilia la constelación del Toro, tuvo la fortuna de descubrir un astro que se movía entre las estrellas, y lo bautizó con el nombre de *Ceres*.

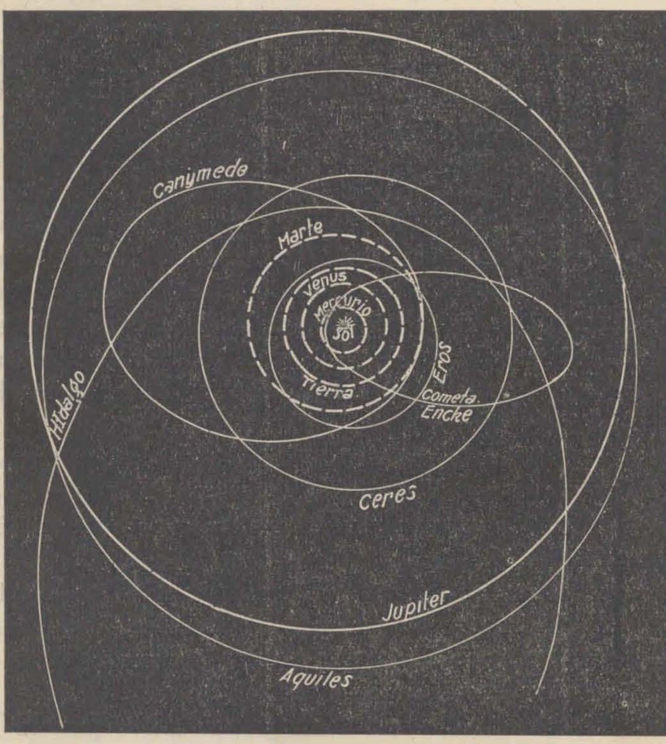
En los días siguientes pudo nuevamente observar al nuevo planeta, pero debido a una pequeña indisposición abandonó sus observaciones y al intentar reanudarlas, dicho astro no pudo ser nuevamente identificado.

El célebre matemático Gauss acudió en su ayuda y pudo calcular, utilizando las observaciones de Piazzi, la órbita de *Ceres* dando un método general usado hasta nuestros días, para determinar la órbita de cualquier planeta con sólo tres observaciones.

Un año más tarde (1802) se descubrió un nuevo planeta *Pallas* en el mismo espacio comprendido entre las órbitas de Marte y Júpiter en el cual se movía Ceres, y luego un tercero *Juno* (año 1804) y un cuarto *Vesta* (año 1807), de manera que el problema de buscar *un planeta* se había tranformado en el de saber *cuántos planetas* existían en esa zona.

Desde entonces se buscó infructuosamente, hasta que en 1845, es decir 38 años después, aparecieron nuevos *planetas telescópicos* o *planetoides* y se observaron con tan buena suerte que en pocos años se conocían más de *un centenar*.

Con los perfeccionamientos de los métodos fotográficos y de la fabricación de los grandes instrumentos, se ha podido aumentar hasta *un millar* el número de *planetoides con órbitas conocidas* y se han descubierto muchísimos otros de los cuales no se han podido todavía estudiar sus recorridos.



ORBITAS. — Las órbitas de los *planetoides* son, como las de los planetas, elipses, pero mucho más achatadas y sus planos forman ángulos apreciables con el de la eclíptica.

Es tal la cantidad de planetas telescópicos que se encuentran en la zona comprendida entre Marte y Júpiter y sus órbitas son tan numerosas y entrecruzadas, que si se representan con hilos de alambre bastaría tomar una de ellas para arrastrar a todas. Así, siendo la distancia media de Marte al Sol 1,52 unidades astronómicas y la de Júpiter 5,20, el *planetoide* Eros tiene una distancia media de 1,46 y el *planetoide* Hidalgo la de 5,71 unidades.

Sin embargo parece que los planetoides están agrupados en familias de los cuales Eros e Hidalgo son elementos tipos. Esos grupos están separados por *espacios desiertos* o lagunas.

La formación de esos grupos se explica por la atracción de los otros planetas, y en especial de Júpiter, cuya influencia sincrónica, de un período de 12 años, ha perturbado el movimiento de los planetoides.

En estos trabajos sobre *familias de planetoides* se distingue el astrónomo japonés Hirayama, que ha identificado familias de más de 40 planetoides.

Con el objeto de distinguir a los planetoides se los numera de acuerdo con el orden de su descubrimiento, siendo notables por su recorrido los siguientes:

Eros (nº 433) ya citado cuya órbita muy alargada es casi totalmente interior a la de Marte.

Albert (nº 719) y *Ganymede* (nº 1036) que penetran igualmente en la órbita de Marte.

Hidalgo (nº 944) cuya órbita toca por un extremo a la de Marte y por el otro a la de Saturno.

El Grupo Troyano compuesto por *Aquiles* (nº 588), *Patroclo* (nº 617), *Héctor* (nº 624), *Néstor* (nº 659), *Priano* (nº 384) y *Agamenon* (nº 911) cuya órbita es siempre equidistante del Sol y Júpiter.

Tokio, recientemente descubierto, es el más extraño de todos los conocidos. Su órbita es más achatada que la de ciertos cometas y se aleja hasta el planeta Urano.

Estos pequeños planetas tardan en recorrer sus órbitas, intervalos de tiempos que varían desde 13 años, como el Boode (nº 944) a menos de 2 años en el caso de Eros. En general tardan 4 ó 5 años.

Dimensiones. — Todos los planetoides son pequeños cuerpos celestes, aún en relación con la Tierra, pues los cuatro mayores tienen los siguientes diámetros: Ceres 768 Km, Pallas 483 Km, Vesta 385 Km y Juno 193 Km, siendo el de los restantes menores de 100 Km.

Fundándose en las perturbaciones que causan en la órbita de Marte resulta que la masa de todos los planetoides no alcanzaría a 0,25 de la de la Tierra.

ORIGEN. — Hasta hace algunos años se creyó que los *planetoides* provenían de un planeta que hubiera explotado en fragmentos, siguiendo cada uno una órbita que sería luego modificada por la influencia de Júpiter especialmente.

El cálculo matemático parece haber desechado este origen común de los planetoides, aun cuando lo admite para ciertos grupos de ellos.

Por último es interesante hacer notar la importancia que tiene el pequeño planeta Eros, que se acerca a nosotros en su *perihelio* hasta 20 800 000 de Km y que permite determinar la distancia Sol-Tierra, *unidad astronómica* con la cual se mide todo el Universo, con un error menor que el que se obtiene por cualquier otro método directo.

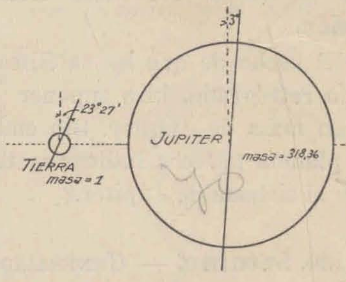
129. **Júpiter.** — GENERALIDADES. — Después de los planetas telescópicos encontramos, al alejarnos del Sol, a *Júpiter*, el planeta gigante de nuestro sistema solar, más voluminoso y pesado que todos los planetas restantes tomados en conjunto.

Fotografía tomada en el Observ. de Lowel en 1915

Júpiter es visible en el cielo como una estrella de primera magnitud, que en ocasiones favorables alcanza el brillo de Marte. Su luz es amarillenta y carece casi por completo, de centelleo.

ORBITA. — La distancia media de Júpiter al Sol es de 5,20 unidades astronómicas. Su órbita es una elipse muy poco achatada, de excentricidad $e = 0{,}048$, casi una circunferencia, y emplea 12 años en recorrerla.

Dimensiones. — El radio de Júpiter es 11 veces el radio terrestre, su volumen 1300 veces el de la Tierra, mientras su masa, que ha podido calcularse con gran precisión al estudiar la influencia de Júpiter sobre los planetoides, es sólo 318 veces la de nuestro planeta.



De su masa y volumen se deduce su poca densidad, 0,24 de la de la Tierra, o sea 1,34 veces la del agua.

Júpiter efectúa su rotación sobre sí mismo muy rápidamente en 9 h 55 min, siendo ésta la causa de su gran achatamiento que es visible con un pequeño anteojo.

La línea de los polos es casi perpendicular al plano de su órbita, lo que trae como consecuencia la falta de *estaciones* en el planeta.

Las observaciones telescópicas revelan que la superficie de Júpiter está cruzada por bandas de contorno difuso, paralelas al Ecuador del planeta, cuyas variaciones de colores producen hermosos contrastes. Además con los grandes anteojos se notan rápidos movimientos de rotación producidos sin duda por violentas tormentas en la atmósfera y manchas que abarcan grandes extensiones como la que se observó en 1878 y alcanzó en el año 1915 un diámetro de 50 000 Km, siendo visible hasta hoy, aun cuando ha disminuído mucho de tamaño

Posteriormente se han observado otras manchas que parecen guardar cierta relación con la anterior y que tienen la apariencia de gigantescas erupciones volcánicas.

Las investigaciones realizadas por el Observatorio de Lowell y de Monte Wilson, indican que la temperatura externa de Júpiter es de — 150° C, lo que conduce a la hipótesis de que está formado por un núcleo central envuelto por una densa atmósfera, en la que el análisis espectral revela la existencia de vapor de agua y de un gas no identificado todavía, aun cuando parece desprenderse de las últimas investigaciones, que contiene amoníaco.

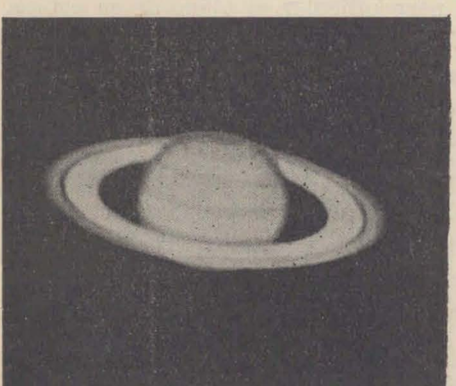
Satélites. — Júpiter en su movimiento de traslación, es acompañado por nueve satélites, cuatro de los cuales fueron descubiertos por Galileo en 1610.

Tres siglos después, los Observatorios de Lick y de Greenwich descubrieron los restantes que son muy difíciles de observar aún con los mejores instrumentos.

Se mueven en el plano de la eclíptica, siendo visibles sus pasos a través del disco iluminado de Júpiter en cada revolución.

El hecho de que los satélites octavo y noveno se muevan en sentido retrógrado, hizo suponer que éstos fueron capturados por la gran masa de Júpiter. Sin embargo las relaciones de las distancias al planeta parecen indicar matemáticamente que pertenecieron siempre al sistema de Júpiter.

130. **Saturno.** — Generalidades. — Después de Júpiter se encuentra Saturno que fué considerado durante mucho tiempo el último planeta del sistema solar. Aunque situado a más de nueve veces la distancia de la Tierra al Sol es visible a simple vista como una estrella de primera magnitud.



Fotografía tomada en el Observatorio de

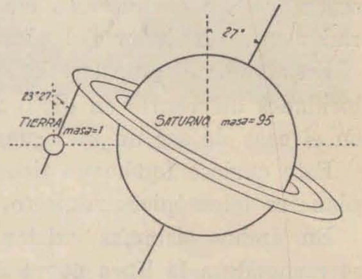
Saturno se caracteriza por estar rodeado de un gigantesco anillo luminoso dentro del cual parece flotar.

Orbita.—Saturno se mueve alrededor del Sol a una distancia media de 9,54 unidades astronómicas, sobre una elipse, más achatada que la de Júpiter, de excentricidad $e = 0{,}056$, empleando 29,5 años para recorrerla completamente.

Dimensiones. — Presenta como Júpiter un achatamiento muy pronunciado, 0,1, visible ya con un pequeño telescopio. El radio ecuatorial mide 60400 Km mientras el polar sólo tiene 54000, de lo que resulta que el diámetro medio es 9 veces, aproximadamente, el del de la Tierra y su volumen 734 veces mayor que el de este planeta.

La masa de Saturno, que se ha medido con gran exactitud estudiando la influencia que ejerce sobre sus satélites y las perturbaciones sobre la órbita de Júpiter, resulta ser 95 veces la terrestre.

De su volumen y masa se deduce que su densidad es muy pequeña 0,13 de la de la Tierra o sea 0,7 de la del agua, es decir que la materia de que está formado Saturno flotaría en el agua.



Como Júpiter, presenta su superficie envuelta por bandas de contorno difuso paralelas al Ecuador, las que se suponen debidas a una atmósfera densa y agitada por violentos movimientos.

Saturno efectúa una vuelta alrededor de su eje en 10 h 14 min (dos veces y media más rápida que la nuestra) lo que ha llevado a la conclusión, deducida matemáticamente, que la mayor parte de su masa está concentrada en el núcleo central, siendo gaseoso el resto del planeta.

La capa superficial está sin embargo a una temperatura ligeramente inferior a la de Júpiter, es decir aproximadamente a 150° bajo cero.

El diámetro aparente de Saturno varía según su posición entre 15″ y 20″ de ángulo.

Los Anillos. — Con el descubrimiento del anteojo astronómico pudo Galileo observar a ambos lados del Ecuador una especie de suplemento, pero recién en 1655 el astrónomo Huygens observó que se trataba de un gigantesco anillo.

Posteriormente se comprobó que eran tres los anillos: el *exterior* de 16000 Km de ancho, al que le sigue un segundo *anillo brillante* de 25000 Km separados ambos por un espacio de 4800 Km que aparece al observarlo como una gruesa *línea negra* o de Cassini, más interiormente un tercer *anillo nebuloso* unido sin solución de continuidad al anterior y terminando por un borde difuso distante 11000 Km de la superficie del planeta.

El conjunto de los tres anillos forma un ángulo de 28° con la eclíptica, y durante el movimiento de traslación del planeta alrededor del Sol se conservan paralelos entre sí. Cada 15 años aproximadamente, el plano de los anillos pasa por la Tierra desapareciendo casi completamente, pues solo se ve el espesor del anillo que es de 16 Km.

Esto se observó muy bien en 1921 y se reproducirá el fenómeno en 1935.

El espectroscopio ha revelado que los anillos están formados por enjambres de corpúsculos materiales o meteoritos que giran separadamente alrededor del planeta.

En efecto: el espectro de la luz de los anillos ha demostrado velocidades diferentes en distintas regiones, lo que no podría suceder en el caso de ser un solo cuerpo.

Este curioso fenómeno tiene mucha analogía con el enjambre de planetas telescópicos respecto del Sol.

En ambos sistemas existen *espacios vacíos*, que en los anillos corresponde a la línea negra de Cassini, producidas por la influencia de los satélites de Júpiter y en especial por el más cercano Mimas.

SATÉLITES. — Saturno es acompañado en su movimiento de traslación por diez satélites que en el orden de sus distancias crecientes al planeta llevan los siguientes nombres: *Mimas, Enceladus, Thethys, Dione, Rhea, Titán, Hyperión, Iapetus, Phoebe y Themis.*

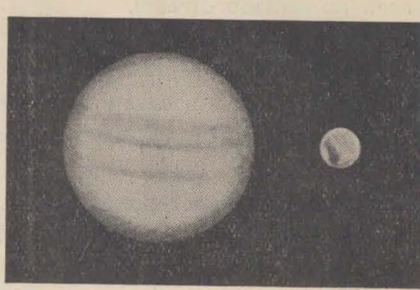
Las dimensiones de estos satélites varía de 270 Km de diámetro que es el del más pequeño, hasta el volumen de *Titán* que es mayor que el de la Luna.

Las masas de estos cuerpos han sido calculadas con bastante aproximación observando las perturbaciones que cada satélite produce sobre los demás.

131. **Urano.** — El sistema solar de los antiguos consistía en el Sol, la Tierra, la Luna y los cinco planetas visibles a simple vista: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Sólo después del empleo del telescopio por Galileo (año 1610), el astrónomo Williams

Herschel en el año 1781 consiguió ampliar, con el descubrimiento del planeta Urano, los límites de nuestro sistema.

Se tienen datos de que Urano había sido observado muchos años antes, siendo siempre confundido con una estrella debido a su lento movimiento.



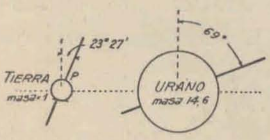
Dibujo de L. Rudaux (*Le Ciel*) mostrando el tamaño de Urano en comparación con la Tierra

Williams Herschel lo descubrió al observar que en la constelación de los *Gemelos*, una de las estrellas parecía tener diámetro aparente y además un pequeño movimiento propio.

Solo en condiciones favorables es visible a simple vista apareciendo como una estrella de 6ª magnitud.

ORBITA. — La órbita es una elipse de 0,047 de excentricidad y emplea en recorrerla 84 años. La distancia media de Urano al Sol es de 19,19 unidades astronómicas.

DIMENSIONES. — El radio de Urano es cuatro veces el radio terrestre, su volumen 64 veces el de la Tierra y su masa es 4,6 veces más grande que la de nuestro planeta.



Efectúa su rotación en 11 horas según las observaciones hechas por el espectroscopio por el método de Doppler.

Además el análisis espectral indica la presencia de vapor de agua por su raya característica de absorción en el espectro, así como la existencia de hidrógeno y de un gas no identificado con los gases terrestres, análogos al helio y al hidrógeno, y que su temperatura es de —170°.

SATÉLITES. — Urano en su movimiento de traslación es acompañado por cuatro satélites: *Ariel, Umbriel, Titania* y *Oberón,* los cuales son difíciles de observar con el telescopio debido a que tienen solo unos cientos de kilómetros de diámetro.

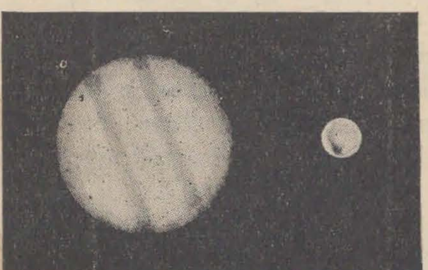
Como las órbitas de estos satélites forman un ángulo de 98° respecto del plano de la eclíptica, parece que dichos satélites se mueven alrededor de Urano en sentido retrógrado, aun cuando en realidad lo hacen en sentido directo.

132. **Neptuno.** — La observación continua de Urano después de medio siglo de su descubrimiento, hizo evidente que el nuevo planeta no seguía la «verdadera» órbita que el cálculo señalaba.

En 1845 esta discrepancia había alcanzado a 2 minutos de arco (0,2 del diámetro aparente de la Luna) lo que obligó a los hombres de ciencia a buscar la causa de ello.

Dos astrónomos buscaron esa explicación, Leverrier en Francias y Adams en Inglaterra, los cuales llegaron casi al mismo tiempo e independientemente, a la misma conclusión: *Un nuevo planeta,* que llamaron *Neptuno, era el que atraía a Urano,* y gracias a sus cálculos pudieron determinar su órbita aproximada y su masa. No obstante la circunstancia expuesta, le cupo a Leverrier la gloria del descubrimiento, pues éste escribió al astrónomo Galle, del Observatorio de Berlín, para que en 1846 dirigiera su anteojo a un determinado punto del cielo, donde encontró al nuevo planeta, el cual fué observado casi exactamente en el lugar indicado (a menos de 1° de diferencia) confirmando de esta manera uno de los grandes descubrimientos humanos hechos sin otro auxilio que el del razonamiento matemático.

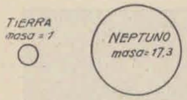
Neptuno había sido *visto por Leverrier a través de sus cálculos,* no obstante estar separado de 2850,000000 Km. Este astrónomo murió 30 años después sin haber querido contemplarlo a través del telescopio.



Dibujo de L. Rudaux (*Le Ciel*) mostrando el tamaño de Neptuno en comparación con el Tierra.

Aparece Neptuno como una estrella de 8ª magnitud, visible con un anteojo de teatro, siempre que se sepa su situación en el cielo.

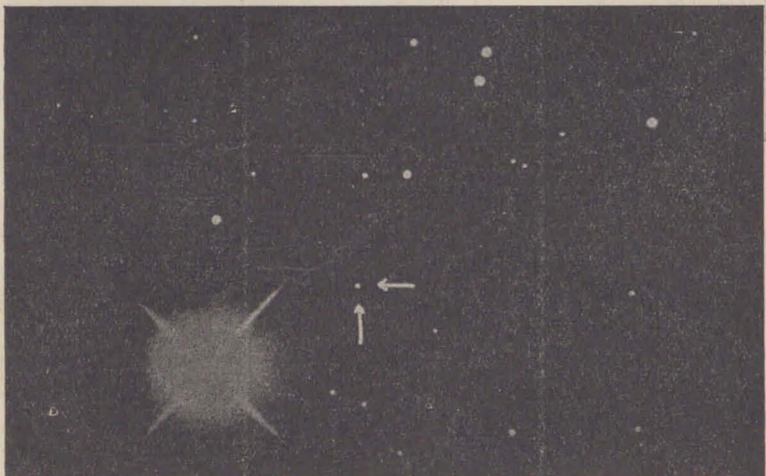
Órbita. — La distancia media de Neptuno al Sol es de 30,07 unidades astronómicas, siendo su órbita una elipse de excentricidad $e = 0{,}008$ y emplea 165 años en recorrerla totalmente.



Dimensiones. — El diámetro de Neptuno es de 3,5 el de la Tierra y su masa 17 veces mayor.

Satélites. — En su movimiento de traslación es acompañado por un satélite *Tritón,* probablemente muy semejante a nuestra Luna y cuya distancia media al planeta es de 352000 Km.

133. **Plutón.** — Los instrumentos de los modernos observatorios han aumentado, como es lógico suponer, el grado de precisión en las



observaciones. Al observar a Urano y Neptuno se comprobaron pequeñas irregularidades con respecto a las « verdaderas órbitas » que da el cálculo, lo que se explicó nuevamente por la atracción de un planeta que se moviera exteriormente a la órbita de Neptuno.

Análogamente como Adams y Leverrier en el caso de Neptuno, el Dr. Percival Lowell del Observatorio de Flagstaff (Arizona, E. Unidos) calculó hace algunos años la órbita del presunto planeta.

Muchos astrónomos creyeron en la existencia de este planeta; entre ellos el Dr. Pickering, y después de infructuosos años de búsqueda un joven del mismo Observatorio de Lowell logró observar

en Marzo de 1930, al nuevo planeta, Plutón, cuyo movimiento respecto de las estrellas puede apreciarse en las fotografías adjuntas tomadas con tres días de intervalo en dicho observatorio.

ORBITA. — Después del descubrimiento de Plutón y del cálculo aproximado de su órbita, se buscaron en los archivos fotográficos de los Observatorios, las regiones del cielo donde debía encontrarse el planeta en años anteriores.

Se ha podido constatar la presencia de Plutón en placas tomadas hasta en el año 1919, lo que ha permitido calcular su órbita con mayor exactitud, sabiéndose actualmente que es más excéntrica que la de cualquier planeta (0,25 de excentricidad), variando su distancia al Sol desde 7600,000000 de Km en el afelio hasta 4600,000000 en el perihelio (distancia menor que la de Neptuno al Sol en la misma posición).

El plano de su órbita forma con el de la eclíptica un ángulo de 17°, siendo por lo tanto la más inclinada de las órbitas planetarias, y emplea 250 años aproximadamente en recorrerla.

DIMENSIONES. — El volumen de Plutón no ha sido encontrado todavía pero los cálculos indican que debe ser menor que el de la Tierra.

Plutón recibe 1600 veces menos luz y calor que nosotros, de manera que de no contar con otra fuente de calor que la del Sol su temperatura sería vecina a 182° bajo cero.

133. **Los Cometas.** — Después de los planetas y sus satélites, estudiaremos otros elementos del sistema solar, los *cometas,* los cuales no poseen las características «normales» de los primeros, pues además de tener según todos los datos, una vida corta, modifican sus órbitas y hasta su misma constitución física, como veremos al tratar los principales cometas conocidos.

La cometas están formadas por un *núcleo brillante* rodeado por una atmósfera gaseosa, llamada la *cabellera,* que forma con el núcleo la *cabeza del cometa.*

Cuando se aproximan mucho al Sol, tienen una prolongación luminosa, más tenue que la materia que forma la cabeza, dirigida en sentido opuesto al Sol que es la llamada *cola del cometa.*

La mayoría de los descubrimientos de cometas son hechos con pequeños telescopios que permiten abarcar zonas extensas del cielo, o con cámaras fotográficas, descubriéndose término medio cinco cometas por año, sin contar los conocidos cuya vuelta se tienen calculadas.

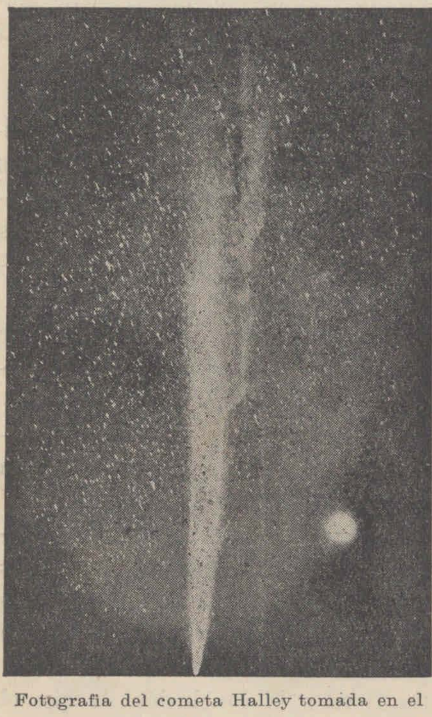
Este número de nuevos cometas lleva a la conclusión de que el sistema solar debe contener billones de estos cuerpos, de los cuales son visibles a simple vista aquellos que tienen grandes dimensiones y que al aproximarse al Sol, forman grandes colas luminosas. La luminosidad de los cometas se debe posiblemente a la luz reflejada del Sol, y a una propia producida por sus átomos electrizados.

Las órbitas de los cometas son, en general, unas elipses muy achatadas cuyos planos forman todas las posiciones posibles con el de la eclíptica.

Esas órbitas son recorridas en pocos años las pequeñas y quizás en miles de años las mayores.

También hay cometas que describen hipérbolas o parábolas, es decir que no retornarán jamás hacia el Sol, habiéndose comprobado que debido a la atracción de grandes planetas como Júpiter, han cambiado ciertos cometas su órbita elíptica por una de las otras.

134. **Características de algunos de los cometas.** — El cometa más notable conocido es sin duda el de *Halley*. En su aparición de 1682 el astrónomo Halley, gran amigo del célebre Newton, trató de calcular su órbita de acuerdo, a la entonces, nueva ley de la gravitación. Con este estudio Halley llegó a la conclusión de que el *cometa de 1682* era el mismo que había aparecido en 1531 y en 1607, y el que, en base a sus cálculos, debía volver en 1758. Esto último tuvo lugar y sirvió para confirmar plenamente la bondad de las leyes de Newton.



Fotografía del cometa Halley tomada en el observatorio de Lowell en mayo de 1910. El astro brillante es Venus.

En su última aparición que se realizó en Mayo de 1910, el cometa llegó a tener una cola que abarcaba 120° de arco o sea 30 000 000 Km de largo, estando formada por materia tan tenue que eran perfectamente visibles las estrellas a través de ella.

El cometa *Enke*, observado ya en 1786, es uno de los más regulares teniendo un período de 3 ½ años. El astrónomo Encke pudo comprobar en 1818 que era el mismo que había sido observado en 1786, 1795 y 1805 y calcular su órbita con gran exactitud (ver figura de pág. 148).

El mismo astrónomo constató el hecho de que el cometa disminuía en cada pasaje su tiempo en 2 ½ horas, lo cual hacía suponer que llegaría el cometa a estrellarse contra el Sol, pero en 1868 se regularizó su movimiento, habiendo sido observado su último pasaje en 1927.

La duración exacta de su revolución es de 3,30344 años y la inclinación de su plano sobre el de la eclíptica es de 12°30′.

El *cometa Biela* estudiado por el astrónomo austriaco del mismo nombre en 1826, fué identificado más tarde con el cometa observado en 1772 y en 1805, siendo su período de 6 ½ años. Su órbita está inclinada sobre la eclíptica unos 13°, aproximadamente.

En 1845 se vió claramente al cometa dividido en dos pedazos que se movían juntos, pero al volver a aparecer, en 1852, ambas partes distaban 1.500.000 Km.

En los pasajes siguientes, en los años 1859, 1865 y 1872, fué imposible distinguirlo y este último año, en el cual debía pasar muy cerca de nosotros pudo notarse una caída de meteoros lo que volvió a suceder en 1865 y 1892, confirmando la hipótesis de que el cometa se había desintegrado en enjambres de meteoritos.

El *cometa Brooks,* cuyo período actual es aproximadamente de 7 años, tenía sin embargo un período de 30 años, alejándose más allá de los grandes planetas, como Neptuno.

En 1880 pasó muy cerca de este planeta acortando su órbita hasta transformarla en la actual, volviendo en los años 1889, 1896, 1903 y 1911, pero cada vez más débil, siendo en la última fecha visible solo con grandes telescopios.

En 1921 nuevamente se aproximó mucho a Neptuno y cuando se lo creía perdido para siempre volvió en 1925 notablemente restaurado.

Cometas característicos. — El *cometa Morehouse* de 1908, del que pudo observarse perfectamente la desaparición total de su cola y la formación de otra pocos días después.

Fotografía del Cometa Brooks tomada en el Observatorio de Yerkes en el año 1923.

El cometa de 1744 formado por 6 enormes colas.

El cometa de 1811 de enorme cola, que volvió repentinamente en 1861.

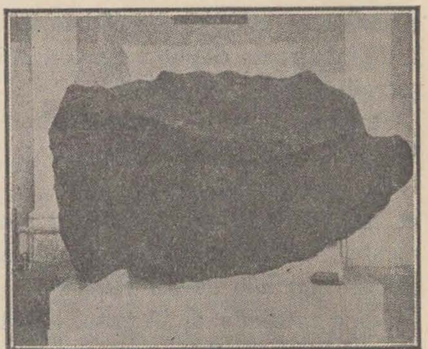
El cometa *Lexell* de 1770 de una órbita de período de 5 ½ años no fué observado más, así como el de *Di Vico* de 1844 de 64 años de período.

La observación de todos los cometas ha llevado a la conclusión de que no obstante formar parte del Sistema solar, tienen una vida relativamente corta, terminando por desintegrarse en meteoritos.

135. **Los meteoros o astrolitos.** — Los meteoros o astrolitos son pequeñas porciones de materia cósmica, generalmente menores que una nuez, que penetran en nuestra atmósfera con velocidades que alcanzan hasta 70 Km/seg.

La gran velocidad de que están animados, produce al llegar a nuestra atmósfera un rozamiento tan grande que elevan rápidamente su temperatura hasta ponerse incandescentes, apareciendo ante el observador como un trazo luminoso que atraviesa una gran porción del cielo.

La elevación de temperatura que alcanza hasta 6000°, como lo revela el análisis espectroscópico, termina en general por quemar completamente al astrolito, pero cuando su masa es muy grande puede alcanzar a la Tierra antes de consumirse, estrellándose en ella con gran estruendo.



El astrolito Peary, conservado en el Museo de Historia Natural de Nueva York.

El mayor meteoro conocido ha sido encontrado en Groelandia, pesa más de 36 toneladas y se exhibe actualmente en el Museo de Historia Natural de New York. Los geólogos norteamericanos aseguran que el promontorio llamado Coon-Butte que es un peñasco aislado de más de 1 Km de diámetro, que se encuentra en el Arizona, en una llanura sin ningún signo de acción volcánica, es también un meteoro.

El análisis químico de los meteoros revela la existencia de compuestos de hierro muy puro con algo de níquel y cobalto. Estas combinaciones no se hallan naturalmente en la Tierra aun cuando se las pueden producir en el laboratorio.

La velocidad con que penetra un astrolito en nuestra atmósfera, se determina al observarlo simultáneamente, desde dos puntos de la Tierra. Se ha calculado que cualquier cuerpo que pertenezca a nuestro sistema solar no puede llegar a nosotros con una velocidad superior a 42 Km/seg.

De aquí que pueda asegurarse que hay meteoros que no pertenecen a nuestro sistema, pudiendo ser restos de estrellas que han viajado miles o quizás millones de años a través del espacio hasta llegar a nosotros.

Los meteoros lentos, es decir, aquellos que llegan a nosotros con velocidades menores de 42 Km/seg son por consiguiente miembros permanentes del sistema solar.

La desintegración de algunos cometas ha dado lugar a enjambres de meteoros que han seguido la órbita del cometa y cuya presencia se nos revela en las épocas en que la órbita del cometa se aproxima a la de la Tierra. Tal es el caso del cometa Biela visto por vez primera en 1772 y por último en 1852, en que había empezado ya a desintegrarse dando lugar en 1872 a la caída de un enjambre de astrolitos.

Igualmente se han encontrado astrolitos que siguen la misma órbita que algún cometa como el de Halley o el de Pons-Winnecke.

Se ha comprobado también que hay enjambres de astrolitos que se mueven alrededor del Sol y que la Tierra los encuentra anualmente produciéndose abundante caída de meteoros. Tal es el enjambre llamado de las Perseidas que se produce desde mediado de Julio a mediado de Agosto, en el lugar del cielo ocupado por la constelación de Perseo. Se cree que probablemente sean los restos de algún planeta desintegrado hace millares de años.

La abundancia de los meteoros nos daría una idea del vacío relativo del espacio interestelar a través del cual se mueve nuestro sistema.

Desgraciadamente los datos que se poseen son muy incompletos pudiendo sólo asegurarse que caen anualmente, sobre la Tierra más de 10 millones de meteoros.

CAPITULO XIV

LA LUNA

PROGRAMA. — *La Luna. Movimiento propio de la Luna. Rotación y libraciones. Paralaje. Distancia a la Tierra. Radio del globo lunar. Constitución física. Eclipses en general. Eclipses de Luna. Eclipses de Sol. Las mareas.*

139. **La Luna.** — Este cuerpo celeste, de la misma edad que la Tierra, fué probablemente el que inició al *hombre* en el estudio del cielo. La repetición regular de su aspecto (*fases*) y la duración de cada uno de ellos han sido el origen de los intervalos de tiempo llamados *mes* y *semana*, respectivamente, es decir, del calendario por el cual ~~que~~ todavía nos regimos.

La importancia que se le ha dado al estudio de la Luna, el cual ~~que~~ es un astro insignificante comparado con los innumerables que forman al sistema solar, se debe, además del particular interés que despierta en el hombre el hecho de ser el astro *más cercano* al planeta en que habita, a que a dicho astro se deben las variaciones que sufren las posiciones de los planos fundamentales de la esfera terrestre, y a que tiene gran influencia sobre la producción de las mareas.

140. **Movimiento propio de la Luna.** — Si nos dedicamos a observar la Luna, aún a simple vista, veremos que ella también se levanta por el Este, aumenta de altura y luego se pone por el Oeste, vale decir, participa como todos los astros, del movimiento diurno aparente. Pero si nos fijamos con más atención relacionando sus posiciones con las de las estrellas, cuya luz es perceptible cuando brilla la Luna, veremos que se desplaza con respecto a ellas, esto es, que posee un *movimiento propio.*

Si desde un lugar cualquiera de la Tierra medimos diariamente el ángulo horario y la declinación de la Luna y representamos sobre una esfera los puntos determinados por esas coordenadas, podemos observar que todas pertenecen a un plano muy poco inclinado con respecto al de la eclíptica (5°8′48″).

Como el plano de la órbita de la Luna corta a la eclíptica, resulta que las órbitas respectivas tienen una cuerda común ☊☋, llamada *línea de los nodos*, y que durante media revolución dicho astro se mueve en uno de los hemisferios respecto del plano de la eclíptica y durante el resto en el hemisferio opuesto.

El extremo ☊ de esa cuerda por el que pasa el centro de la Luna del hemisferio austral al boreal se llama *primer nodo* o *nodo ascendente*, y el otro ☋ *segundo nodo* o *descendente*.

La *línea de los nodos*, como la de los equinoccios, tiene también un movimiento que se llama *retrogradación de los nodos*. Esta línea efectúa una vuelta completa al cabo de 18 años y medio, aproximadamente.

De acuerdo a las leyes de Kepler la Luna describe una elipse alrededor de la Tierra que ocupa uno de los focos, lo cual puede comprobarse al medir los diámetros aparentes de la Luna, que varían de 29′22″ a 33′31″, y calcular en base a ellos, como lo hicimos para el caso del Sol (nº 80), sus distancias a la Tierra.

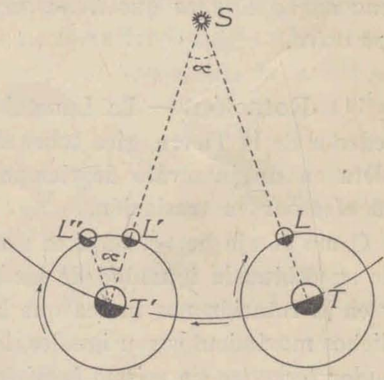
La Luna efectúa una vuelta completa alrededor de la Tierra, o sea una *revolución sideral* en 27 d 7 h 43 min 5 seg.

La *revolución sinódica* de la Luna, *lunación* o *mes lunar*, que es el intervalo de tiempo transcurrido entre dos conjunciones o dos oposiciones con el Sol, es de 29,53 días medios.

Esta revolución tiene una duración mayor que la sideral por las siguientes razones: supongamos que las órbitas de la Tierra y de la Luna sean circunferencias cuyos centros son el del Sol y el de la Tierra, respectivamente, y que pertenezcan al mismo plano, el de la eclíptica. (Figura en la página siguiente).

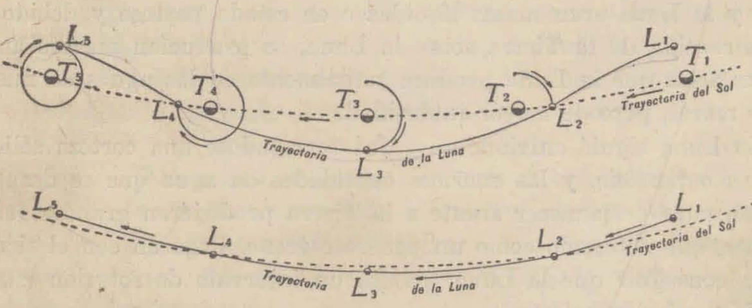
Cuando la Luna está en L se encuentra en conjunción con el Sol. Si la Tierra no se trasladara, al dar la Luna una vuelta completa alrededor de ella y ocupar la posición L″ (siendo TL || T″L′) se encontraría nuevamente en conjunción con el Sol y el tiempo transcurrido sería igual a una revolución sideral (27 días 7 h 43 min 5 seg).

Pero cuando la Luna ha efectuado una rotación completa sobre su órbita, la Tierra se ha trasladado y ocupa la posición T′, luego para que la conjunción se verifique nuevamente es necesario que la Luna recorra además el arco L″L′ y por lo tanto, que transcurra un tiempo mayor que el de la revolución sideral.



Teniendo en cuenta las duraciones de la revolución sinódica y la de la Tierra alrededor del Sol, resulta que cuando éste da aparentemente una vuelta completa a su órbita, la Luna ha cumplido 13 revoluciones, por lo tanto mientras ella se retarda diariamente 13°, aproximadamente, respecto de las estrellas, el Sol solo se atrasa en 1° o sea la Luna se atrasa diariamente respecto del Sol 12° de arco o 48 min de tiempo, aproximadamente.

Así, si un día vemos ponerse a la Luna poco después del Sol y a corta distancia del mismo, al siguiente eso se verificará con ma-



yor separación y 48 minutos más tarde, al siguiente de éste 96 min más tarde y la Luna tendrá una altura apreciable después de ponerse el Sol.

Si hallamos el movimiento resultante de la composición del de traslación de la Tierra alrededor del Sol, con el de la Luna alrededor de la Tierra, resultará que la trayectoria real de la Luna referida al Sol, es una curva sinuosa como la de la figura, donde se han exagerado mucho las sinuosidades.

La curva inferior muestra en escala verdadera la forma de esa órbita y su relación con la de la Tierra, y puede observarse en ella que *la trayectoria del movimiento real de la Luna respecto del Sol es una curva sinuosa que tiene dirigida siempre su concavidad hacia ese astro.*

141. **Rotación.** — La Luna al mismo tiempo que se traslada alrededor de la Tierra, gira sobre su eje efectuando una rotación completa en un intervalo de tiempo exactamente igual al que emplea en efectuar su traslación,

Como el eje de rotación es sensiblemente perpendicular al plano de su órbita, la igualdad de los tiempos empleados en la traslación y en la rotación nos indica que las velocidades angulares medias de dichos movimientos son iguales, lo cual *hace que sea visible al observador terrestre un mismo hemisferio,* como puede comprobarse fácilmente al observar las irregularidades de su superficie y constatar que siempre son las mismas.

En los primeros días de la Luna, ésta giraba, probablemente, con velocidad angular mayor que la de traslación. En esos tiempos la Tierra y la Luna eran masas líquidas o en estado pastoso y debido a la atracción de la Tierra sobre la Luna, se producían mareas análogas a las que la Luna produce actualmente en las aguas de nuestros mares, pero de mayor intensidad.

La Luna siguió enfriándose y fué formándose una corteza sólida en su superficie, y las enormes cantidades de agua que se desplazaban para permanecer frente a la Tierra produjeron grandes fricciones, que actuando como un poderoso freno, llegaron con el tiempo a conseguir que la Luna tuviera un intervalo de rotación igual al de traslación.

La apariencia de que la Luna no gira es casualmente la prueba de lo contrario, pues no podría mostrar siempre el mismo hemisferio si se trasladara alrededor de nosotros sin girar.

Los alumnos pueden apreciar esto, si dedican unos minutos en caminar alrededor de una mesa manteniéndose constantemente frente a un objeto colocado sobre la misma, pues constatarían que después de haber dado una vuelta completa alrededor de la mesa, han girado completamente sobre sí mismos a pesar de no haberse preocupado de hacerlo.

142. **Efecto del movimiento propio.** — FASES DE LA LUNA. — Toda la luz que nos envía la Luna es luz del Sol reflejada, pues dicho astro carece de luz propia. Como no es un buen espejo solo refleja el 7 % de la luz que recibe, de manera que se necesitaría la luz de 450 000 lunas llenas para obtener la del Sol, lo que nos da una idea de la debilidad de su poder luminoso.

Habíamos visto en el párrafo anterior, que por la igualdad de las velocidades de los movimientos de rotación y traslación del globo lunar sólo es posible ver desde la Tierra el mismo hemisferio, el cual aparece iluminado, en su totalidad o en parte según las posiciones relativas de la Luna, el Sol y la Tierra, presentando aspectos diversos que se conocen con el nombre de *fases de la Luna*, y se repiten periódicamente en el mismo orden.

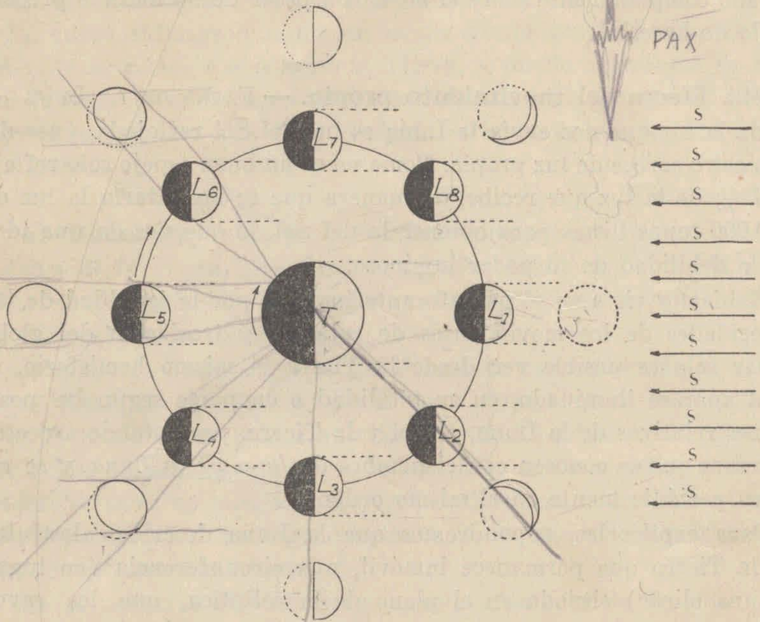
Para explicarlas, supondremos que la Luna describe, alrededor de la Tierra que permanece inmóvil, una circunferencia (en lugar de una elipse) situada en el plano de la eclíptica, que los rayos del Sol son paralelos y perpendiculares al plano del círculo de iluminación, que es el que separa al hemisferio obscuro del iluminado, y que el disco bajo el cual se ve a la Luna desde la Tierra (contorno aparente) es un círculo máximo de la Luna, cuyo plano es perpendicular a la recta determinada por los centros de los dos astros.

Cuando la Luna está en conjunción con el Sol, posición L_1, su hemisferio iluminado es invisible para un observador terrestre puesto que está vuelto hacia el Sol, por eso no se ve a dicho astro en ninguna parte del cielo y se dice que se está en *novilunio* o que se tiene *Luna nueva.*

Transcurridos unos tres días y medio ella alcanza la posición L_2 y se puede percibir una pequeña parte del disco iluminado, bajo la forma de una ☾ y que ésta va aumentando de espesor hasta que después de siete días a contar del novilunio, cuando está en L_3 se presenta al observador como un semicírculo iluminado. Se dice en-

Gastón Leroux

tonces que la Luna es *creciente* y que está en *primer cuarto creciente* o en *primera cuadratura.*



En los días subsiguientes va aumentando la parte de disco iluminado visible y siete días después del primer cuarto, cuando la Luna alcanza la posición L_5 puede verse todo el hemisferio iluminado bajo la forma de un círculo L_5 que recibe el nombre de *Luna llena* o *plenilunio.* Cuando eso se verifica la Luna y el Sol están en oposición con respecto a la Tierra.

En los días que siguen al plenilunio el disco va perdiendo su luz hasta que al cabo de siete días vuelve en L_7 a estar iluminado solamente un semicírculo.

A este aspecto de la Luna se le llama *cuarto menguante* o *segunda cuadratura.*

Después de haberlo alcanzado sigue disminuyendo hasta que al cabo de tres días y medio solo se ve un pequeño huso L_8 que desaparece al cabo de siete días volviendo a tenerse Luna nueva a partir de la cual se reproducen todos los aspectos que hemos descripto.

Cuando se verifican las oposiciones se dice que son las épocas de las *sisigias*, y en esos casos las diferencias entre las longitudes del Sol y de la Luna son 0° ó 180°, según se trate del novilunio o plenilunio, respectivamente.

En la época de las cuadraturas las diferencias entre las longitudes de esos mismos astros son de 90° y 270° en el primer y último cuarto, respectivamente.

Conviene tener presente para las observaciones, que la Luna es *llena* cuando *nace* mientras el Sol se *pone* y culmina, por lo tanto, a media noche; y es *media* Luna cuando culmina en las horas en que el Sol se *pone* o *nace*.

Las fases de la Luna han permitido probar que: dicho astro *gira alrededor de la Tierra, recibe su luz del Sol* y es un *cuerpo opaco de forma aproximadamente esférica* (*).

De todas las suposiciones que hemos hecho con el objeto de simplificar el estudio de las fases de la Luna, la que más interviene en hacer que las explicaciones dadas no se ajusten a la realidad, es la de que la Tierra permanece inmóvil. Si así fuese, resultaría que el tiempo empleado por la Luna en dar una vuelta completa alrededor de la Tierra y el transcurso entre dos nivilunios consecutivos tendría que ser el mismo.

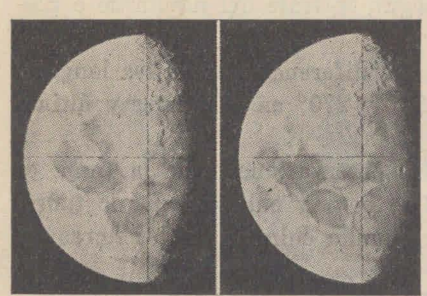
Al definir las revoluciones sideral y sinódica vimos que eso no sucedía, y podemos decir que la Luna emplea en recorrer su órbita 27 días 7 h 43 min 5 seg y que en cambio la duración de una *lunación* o sea el intervalo de tiempo transcurrido entre dos novilunios consecutivos es de 29 días 12 h 44 min 3 seg.

143. **Libraciones.** — Habíamos dicho en los párrafos anteriores que solo era visible para un observador terrestre un hemisferio lunar. Pero eso no es rigurosamente exacto, puesto que tal cosa había sido establecida suponiendo que el *eje de la Luna era perpendicular al plano de la órbita, que su velocidad de traslación fuese constante* y que el *observador ocupaba el centro de la Tierra*, hipótesis que son solamente aproximadas.

Si tomamos en cambio las cosas tal como son, resulta que es

(*) La forma real de la Luna es la de un elipsoide de tres ejes desiguales, el mayor de los cuales está dirigido hacia la Tierra.

posible observar algo del otro hemisferio, y llegar a conocer el 59 % aproximadamente de la superficie lunar.



Efectivamente: el considerar la realidad correspondiente a las dos primeras hipótesis trae consecuencias iguales a las que se obtendrían si la Luna se balanceara alrededor de su centro apartándose de su posición media, lo que permitiría ver *algo más de un hemisferio* en *longitud* y en *latitud*. La tercera hipótesis hace que un observador terrestre vea una misma mancha lunar en distintas posiciones a medida que varía la altura de la Luna. Esas oscilaciones aparentes se llaman *libraciones* y se dice que la Luna tiene una *libración* en *longitud*, otra en *latitud* y una *libración diurna*.

El efecto de las libraciones puede notarse en las fotografías adjuntas, observando que las mismas manchas lunares están más cerca del borde en la segunda fotografía que en la primera.

144. **Paralaje. Distancia a la Tierra.** — Recordemos que se llama paralaje, *p*, de un astro, la Luna por ejemplo, al ángulo bajo el cual se vería desde su centro al radio terrestre. Vimos también que, en general, eran ángulos muy pequeños, de pocos segundos, y cuyos valores eran inversamente proporcionales a la distancia del astro a la Tierra.

En el caso de la Luna, como es el astro más cercano a nuestro planeta, la paralaje llega a superar a 1°. Su valor medio es de 57′; su máximo de 61′ y su mínimo de 54′.

La determinación de la paralaje lunar puede hacerse por cualquiera de los métodos siguientes: «por observaciones combinadas «en puntos del hemisferio austral y boreal pertenecientes al mismo «meridiano; por la observación de ocultaciones de las estrellas por «la Luna efectuadas desde diversos puntos de la Tierra, por el «cálculo teórico de la distancia que la Luna tiene que tener para «describir su órbita alrededor de la Tierra en el tiempo de revolu-

« ción que las observaciones le asignan », etc., etc., y cuyos detalles no corresponden a un curso elemental de Cosmografía.

Conociendo el valor de la paralaje de la Luna, es posible hallar la distancia de ese astro a la Tierra procediendo como lo hicimos para hallar la del Sol (nº 80).

En efecto: llamando p_m a la paralaje lunar media, $R_{♁}$ al radio medio terrestre y d a la distancia media entre el centro de la Luna y el de la Tierra, tenemos:

$$d = \frac{R_{♁}}{\operatorname{sen} p} = \frac{R_{♁}}{\operatorname{sen} 57'} \cong \frac{R_{♁}}{med.\ 57'} \qquad [1]$$

y como tomando la medida del arco en radianes, se tiene que:

$$med.\ 57' = \frac{57 \times 2\pi}{21600} \cong \frac{1}{60}$$ reemplazando en [1]

resulta: $$d = \frac{R}{\dfrac{1}{60}} = 60\,R \qquad \boxed{d = 60\,R}$$ vale decir que

La distancia de la Luna a la Tierra es, aproximadamente, igual a 60 radios terrestres.

Tomando para el radio de la Tierra el valor $R_{♁} = 6370$ Km tendríamos que la distancia media Tierra-Luna expresada en kilómetros es

$$d = 60 \times 6\,370 \text{ Km} = 382\,200 \text{ Km}.$$

145. **Dimensiones del globo lunar.** — Habíamos visto (nº 81) que se podía calcular el radio de un astro en función del radio terrestre $R_{♁}$ de la paralaje p y del semidiámetro δ de dicho astro, mediante la fórmula:

$$R_{☾} = \frac{R_{♁} \cdot \operatorname{sen} \delta}{\operatorname{sen} p}.$$

Como el semidiámetro de la Luna varía entre $\delta_{max} = 16'46''$ y $\delta_{min} = 14'41''$ siendo su valor medio $\delta_m = 15'43''$ operando con este valor tendremos

$$R_{☾} = \frac{R_{♁} \operatorname{sen} 15'43''}{\operatorname{sen} 57'} \cong \frac{R_{♁}\ med.\ 15'43''}{med.\ 57'} \cong R_{♁} \frac{3}{11}$$

o sea $$\boxed{R_{\text{☾}} \cong \frac{3}{11} R_{\text{♁}}}$$

El radio de la Luna es aproximadamente igual a los $\frac{3}{11}$ (casi un cuarto) del de la Tierra.

SUPERFICIE Y VOLUMEN DE LA LUNA. — Recordando que la razón entre las superficies de dos esferas es igual al cuadrado de la razón entre sus radios y que la de sus volúmenes es igual al cubo de esa última razón, se tiene:

$$\frac{Sup_{\text{☾}}}{Sup_{\text{♁}}} = \left(\frac{R_{\text{☾}}}{R_{\text{♁}}}\right)^2 = \left(\frac{3}{11}\right)^2 = \frac{9}{121} \cong \frac{1}{13}$$

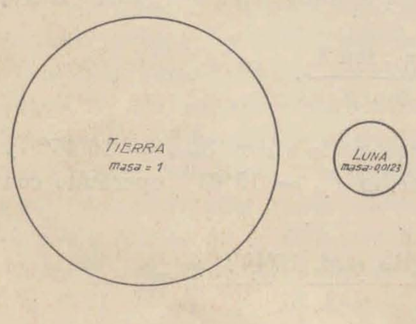
luego $$\boxed{Sup_{\text{☾}} \cong \frac{1}{13} Sup_{\text{♁}}}$$ es decir:

La superficie del globo lunar es, aproximadamente, la ~~trece~~ 14 ava parte de la terrestre.

$$\frac{Vol_{\text{☾}}}{Vol_{\text{♁}}} = \left(\frac{R_{\text{☾}}}{R_{\text{♁}}}\right)^3 = \left(\frac{3}{11}\right)^3 = \frac{27}{1331} \cong \frac{1}{50}$$

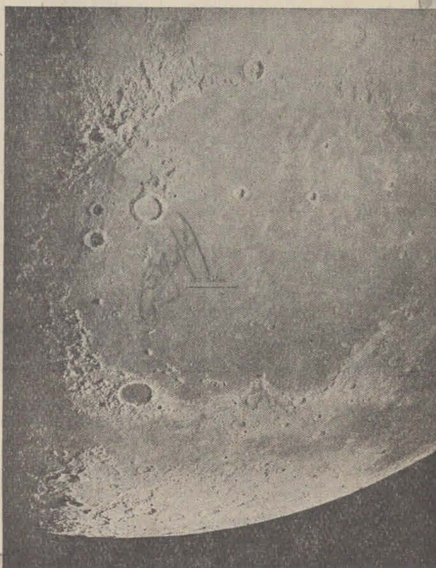
luego $$\boxed{Vol_{\text{☾}} \cong \frac{1}{50} Vol_{\text{♁}}}$$ vale decir;

El volumen de la Luna es, aproximadamente, la cincuenta ava parte del de la Tierra.



La masa de la Luna puede obtenerse en base a la de la Tierra y a la distancia entre ambas, mediante la aplicación de la ley de gravitación universal. En esa forma se ha calculado que la *masa de la Luna es la ochenta y una ava parte de la terrestre, y* *la densidad de la materia lunar el 0,6 de la terrestre* o sea 3,4 veces la del agua.

146. **Constitución Física.** — La densidad 0,6 de la terrestre nos dice que la Luna está formada por rocas similares a las que se encuentran debajo de la corteza terrestre, lo que concuerda con la hipótesis que hace nacer a la Luna y a la Tierra de la misma nebulosa terrestre, cuando ésta estaba en estado líquido o pastoso. En ese caso los materiales más livianos fueron los que se desprendieron quedando en el núcleo los más pesados como el hierro.



Fotografía tomada en el Observatorio de Monte Wilson

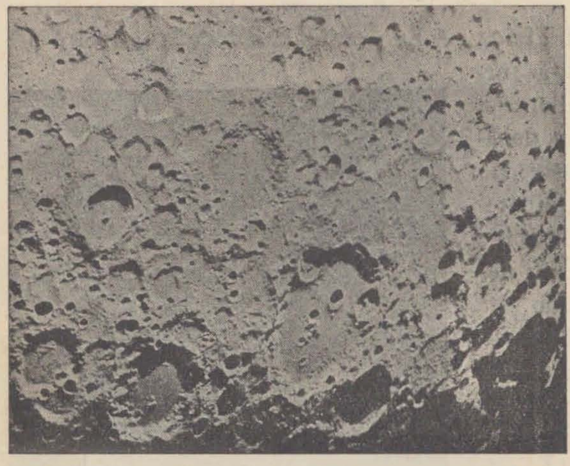
La Luna está tan cerca de nosotros que a simple vista o mejor con un anteojo de teatro, pueden observarse zonas claras y obscuras que son las montañas y llanuras lunares que han podido verse claramente con los grandes telescopios.

El de Monte Wilson da fotografías directas de la Luna como si tuviera un diámetro aparente de 76 cm, lo que permitiría ver detalles del tamaño de las pirámides de Egipto.

Las montañas de la Luna son relativamente más altas que las de la Tierra, pues las hay casi tan elevadas como el Monte Everest en una esfera cuyo radio es ¼ del de la Tierra. Se miden sus alturas en base a las longitudes de las sombras que proyectan sobre la superficie.

Las montañas lunares tienen la curiosa característica de ser circos cerrados que alcanzan a tener diámetros mayores que 150 Km, generalmente con un pequeño cono surgiendo en el centro y que parecen han sido producidas, en tiempos pasados, por la caída de enjambres de meteoros en la superficie de la Luna.

La Luna carece de atmósfera lo que se explica porque una masa 80 veces menor que la de de la Tierra, no ha podido retener por atracción las moléculas gaseosas de su primitiva atmósfera, que como en todos los gases están en continuo movimiento. Probablemente conserve, como parece resultar de acuerdo a las observaciones, pequeñas porciones de gases muy pesados y de vapor de agua.



Fotografía tomada en el Observatorio de Yerkes

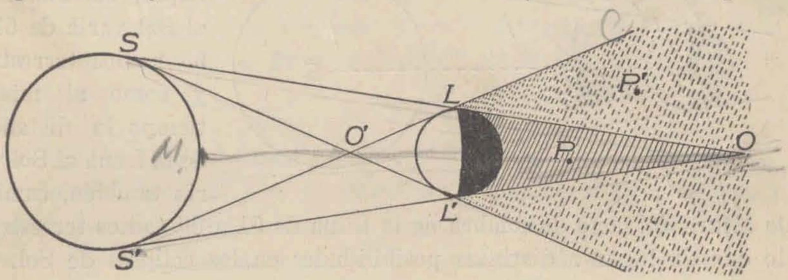
La ausencia de atmósfera y sus causas erosivas son las que producen el gran contraste entre la montaña y el valle, lo que da al paisaje lunar un carácter muy distinto al que se observaría desde la Luna al mirar a la Tierra.

147. **Eclipses.** — Cuando un cuerpo opaco como la Tierra o la Luna, interceptan los rayos solares que caen sobre cualquiera de ellos, se produce el fenómeno llamado *eclipse.*

El mecanismo de un eclipse se explica fácilmente teniendo en cuenta las distancias Tierra-Sol o Tierra-Luna y las dimensiones de estos astros.

Debido a la forma casi esférica de la Tierra y de la Luna, los rayos del Sol producen detrás de cada uno de estos astros conos de sombras dentro de los cuales los rayos del Sol no pueden llegar. Si trazamos las tangentes exteriores comunes a las circunferencias que representan al Sol y a la Luna (o a la Tierra), se forma un cono de vértice O y generatriz OLS. El cono de vértice O y generatriz OL es el cono de sombra correspondiente a la Luna. Si P es un punto interior al mismo, los rayos del Sol no llegan a él.

Trazando las tangentes interiores comunes a ambas circunferencias se forman dos conos opuestos por el vértice O′. El cono de vértice O′ y directriz $C_{\left(\frac{LL'}{2}\right)}$ (*) se llama *cono de penumbra* y contiene al cono de sombra. Todo punto P′ situado en el interior del cono de penumbra y exterior al cono de sombra, recibirá solo parte



de los rayos solares, es decir, verá solo una porción del disco solar.

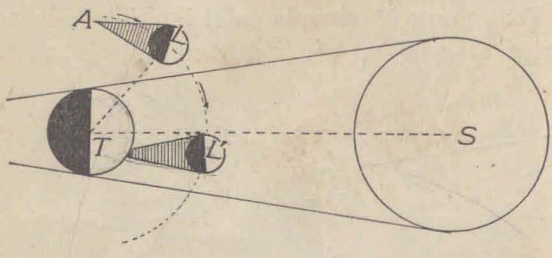
Cuando la Luna al moverse en su órbita alrededor de la Tierra, se coloca exactamente entre un punto de la Tierra y el Sol, el cono de su sombra cae sobre la Tierra, ocultando para los observadores colocados en los lugares donde llega dicho cono al disco solar, produciéndose entonces el fenómeno llamado *eclipse de Sol.*

En cambio cuando la Tierra queda exactamente entre el Sol y la Luna intercepta los rayos del Sol que alumbraban a la Luna, ocultándola no solo para todos los observadores terrestres que tienen a la Luna en el horizonte, sino para un supuesto observador colocado fuera de la Tierra. Este fenómeno es el llamado *eclipse de Luna.*

De lo dicho anteriormente se deduce que un eclipse de Sol debe suceder cuando hay *luna nueva* y un eclipse de la Luna cuando hay *luna llena,* pero como la órbita del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, pertenece a un plano distinto al de la órbita aparente del Sol en su traslación respecto de la Tierra, *no sucede un eclipse a cada luna llena* o *luna nueva.*

(*) La notación $C_{\left(\frac{ZZ'}{2}\right)}$ significa: circunferencia de radio $\frac{LL'}{2}$.

148. **Eclipse del Sol.** — Vistos desde la Tierra los diámetros aparentes del Sol y el de la Luna son casi iguales, aun cuando el diámetro real del primero es 400 veces mayor que el segundo, pero como casualmente está el Sol aproximadamente 400 veces más alejado que la Luna, es por lo que parecen tener el mismo disco.



Siendo la órbita de la Tierra una elipse, su distancia al Sol varía de 51 a 63 radios terrestres y como al mismo tiempo la distancia de la Luna al Sol varía también, cambia la altura del cono de sombra de la Luna de 51 a 59 radios terrestres, lo que da lugar a distintas posibilidades en los eclipses de Sol.

Cuando la altura del cono de sombra de la Luna, excede en longitud a la distancia Tierra-Luna dicha sombra alcanza a la Tierra solo en algunas regiones, puesto que cualquier sección de ese cono es muy inferior al diámetro de la Tierra, teniendo lugar en esos puntos un *eclipse total del Sol,* puesto que el Sol es ocultado por completo en dichas regiones.

En cambio cuando el cono de sombra no llega a alcanzar a la Tierra, el Sol es ocultado por la Luna, parcialmente, quedando un anillo de luz alrededor del disco negro de la Luna, sucediendo lo que se llama un *eclipse anular de Sol.* La observación de la figura adjunta basta para aclarar el concepto.

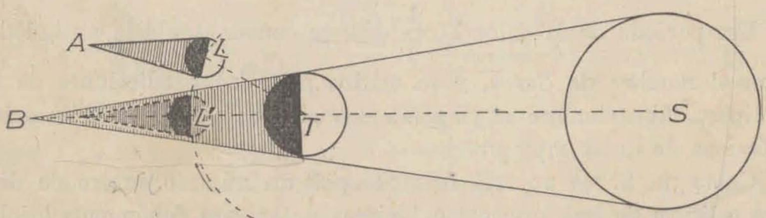
En el caso de eclipse de Sol más favorable, la intersección del cono de sombra con la Tierra no alcanza a tener un diámetro de 300 Km. Pero teniendo en cuenta el movimiento de rotación de la Tierra la sombra de la Luna puede recorrer sobre la primera hasta 13000 Km.

Fuera de esta estrecha faja barrida por el cono de sombra y de la cual la mayor parte cae generalmente sobre el mar, existe una faja mucho más ancha ocupada por el cono de penumbra, desde el cual un observador verá ocultarse una parte del disco solar, sucediendo el llamado *eclipse parcial de Sol.*

Como el camino recorrido por la sombra de la Luna puede calcularse con anterioridad al eclipse, es posible anticipar para que lugares de la Tierra será visible.

La sombra de la Luna se traslada sobre la superficie de la Tierra a razón de unos 1500 Km por hora en el Ecuador, lo que limita la duración de un eclipse a un intervalo menor de 8 minutos de tiempo, y en nuestra latitud, debido a que la velocidad de rotación de la Tierra disminuye a medida que se aleja del Ecuador y esta velocidad se resta a la de la sombra de la Tierra, que se mueve en el mismo sentido que el de ésta, la duración de un eclipse no pasa de 6 minutos.

149. **Eclipses de Luna.** — Siendo la Tierra una esfera de diámetro cuatro veces mayor, aproximadamente, que el de la Luna, y alcanzando su cono de sombra a tener una altura de 216 $R_{♁}$, es posible que esta última al efectuar su movimiento alrededor de la primera, penetre en dicho cono, y quede en algunos casos total-



mente sumergida en él, pues el diámetro de la sección del cono de sombra hecha a una distancia del centro de la base igual a distancia media Tierra-Luna (60 $R_{♁}$) es $2\frac{1}{2}$ mayor que el diámetro lunar.

Los eclipses de Luna son visibles desde todos los puntos de la Tierra que tengan a Luna sobre su horizonte en el intervalo en que se produce, y la duración de los mismos puede alcanzar a 1 h 40 min como máximo.

Habíamos dicho que los eclipses de Luna tenían lugar en la época de Luna llena, pero, como hicimos notar, no en todos los novilunios se producen, puesto que como el plano de la eclíptica y el de la órbita lunar no son coincidentes y solo tienen dos puntos comunes, los nodos, es necesario que la Luna se encuentre en la mencionada época muy cerca de uno de esos puntos (una distancia angúlar menor de 12°) para que penetre en el cono de sombra de la Tierra y se produzca, por lo tanto, eclipse de Luna.

Estos eclipses pueden ser *parciales* o *totales* pero *nunca anulares*, pues como la Luna carece de luz propia al interponerse la Tierra entre ella y el Sol, que es quien le envía la luz, sufre una privación de la misma.

No debe creerse que en los eclipses totales de Luna ella desaparezca por completo, por el contrario se la puede ver con un color rojizo surcado de manchas obscuras, producido por los rayos solares refractados por la atmósfera terrestre.

Como debido a su movimiento de retrogradación la línea de los nodos da una vuelta completa a la órbita lunar, al cabo de 18 años $11\frac{1}{3}$ días, y los eclipses de Luna solo tienen lugar cuando ese astro se encuentra en la proximidad de los nodos resulta que esos fenómenos se repetirán al cabo de ese tiempo casi en las mismas fechas y en igual orden.

Ese período de 18 años $11\frac{1}{3}$ días se conoce desde la antigüedad con el nombre de *Saros*, y se utiliza para las predicciones de los eclipses. Actualmente se emplean con el mismo objeto tablas astronómicas de datos muy precisos.

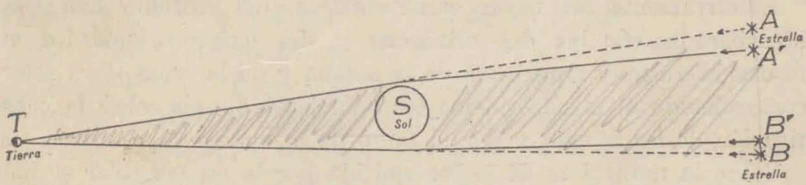
Como un Saros no está formado por un número entero de días, los eclipses de Sol, que como hicimos notar, son fenómenos locales, se reproducirán después de cumplido uno de esos períodos en distintos lugares de la Tierra. Así, por ejemplo, el eclipse total observable en los Estados Unidos de Norte América en el 24 de Enero de 1925, se reproducirá en Siberia el 4 de Febrero de 1923, en Japón, Francia, Italia y Rusia el 15 de Febrero de 1931 y solo después de 64 Saros, o sea en el año 3075 volverá a ser observable en los Estados Unidos.

En el período de un Saros tienen lugar 70 eclipses, de los cuales 41 son de Sol y 29 de Luna. Los primeros son más frecuentes porque para que se produzcan basta que la Luna penetre en el tronco de cono de base $C_{\left(\frac{TT'}{2}\right)}$ y $C_{\left(\frac{SS'}{2}\right)}$ que es mucho mayor que el cono de sombra de la Tierra, dentro del cual debe penetrar la Luna para quedar eclipsada.

150. **Importancia de las observaciones de los eclipses.** — El corto intervalo de tiempo que duran los eclipses totales de Sol, y los trabajos que significan trasladarse y hacer instalaciones en alejadas regiones donde se producen esos fenómenos, son sin embargo compensados por las importantes observaciones que únicamente entonces es posible efectuar.

Así, el estudio de la *corona solar* se ha hecho en los pocos minutos de los eclipses totales acaecidos últimamente, revelándonos el espectroscopio como vimos la constitución química, densidad, temperatura, etc.

Otras experiencias importantísimas han sido las tendientes a comprobar la moderna Teoría de la Gravitación de Einstein, que significa una aproximación mayor que la Teoría de Newton en el conocimiento de las leyes de la Naturaleza. Se ha tratado en esas



experiencias de medir la desviación que sufre un rayo de luz proveniente de una estrella, al pasar cerca de una gran masa celeste. Para ello, en el momento de un eclipse total de Sol, se fotografía una estrella elegida convenientemente, de manera que, en el instante del eclipse, un rayo de su luz roce el disco solar ocultado; y si se compara su posición sobre el fondo de las otras estrellas, antes y después de la experiencia, se comprueba perfectamente que la desviación sufrida por el rayo de luz está expresada por un ángulo igual al calculado teóricamente por el mismo Einstein.

Las observaciones de los eclipses totales efectuadas en el Brasil en Mayo de 1919 por el Real Observatorio de Greenwich, y en Australia en 1922, han confirmado ampliamente las conclusiones de la Teoría de Einstein, que por otra parte no son explicables por la Teoría de Newton.

Otra observación muy importante hecha en el momento de los eclipses, ha sido la de una raya color amarillo-verdoso que aparece en el espectro de la corona solar y que se atribuyó a la presencia de un gas, al que se le llamó *coronio*, no pudiendo ser identificada dicha raya con la de ninguna sustancia conocida en la Tierra. Sin embargo, la teoría sobre la constitución de la materia permite asegurar (*) que en las estrellas no se encontraran más sustancias que las existentes en la Tierra.

«Los físicos han logrado establecer el esquema ordenado de los «elementos; y en este esquema se ve que no quedan lugares vacíos «que puedan ser ocupados por elementos nuevos» que podrían aparecer en las observaciones astronómicas.

El *coronio* no es pues un *elemento nuevo*, «es algún elemento, «que nos es sin duda familiar, pero que no podemos identificar fá-«cilmente por haber perdido varios de sus electrones. Un átomo que «ha perdido un electrón es como un amigo que se ha afeitado el bi-«gote; sus antiguos conocidos no lo reconocen».

Efectivamente las rayas características del coronio han sido identificadas con las del nitrógeno y del oxígeno ionizados en la atmósfera muy enrarecida de la corona y de la cromosfera solar, comprobando al mismo tiempo las notables hipótesis sobre la constitución de los átomos y por lo tanto de la materia.

Sobre la naturaleza de la luz emitida por la *corona solar* se han hecho también interesantes estudios, para comprobar si dicha luz es reflejada o tiene emisión propia. Se cree actualmente de que dicha luz es producida por electrones libres, que como sabemos son partículas sumamente pequeñas que llevan cargas de electricidad.

Los eclipses de Luna permiten estudiar las condiciones de limpieza y opacidad de nuestra atmósfera, de acuerdo al color y brillo que la Luna adquiere cuando penetra en el cono de sombra de la Tierra.

151. **Mareas.** — Se conoce con ese nombre el movimiento regular y periódico a que están sujetas las aguas de los mares, y debido al cual el nivel de las mismas varía constantemente durante un día.

Si ese fenómeno se observa en un lugar determinado de la orilla del mar, se ve que las aguas comienzan a subir, o lo que es lo mismo se origina el *flujo* hacia la costa, cuya duración es de 6 h 13 min, hasta que alcanzan una altura, llamada *alta marea* o *pleamar*, que

(*) *Estrellas y Atomos*, de A. S. Eddington, pág. 89. Los párrafos transcriptos a continuación son del mismo autor.

no vuelven a superar y en la que se mantienen por espacio de media hora, aproximadamente.

Transcurrido ese tiempo comienza el descenso o *reflujo* de las aguas, cuya duración es también de 6 h 13 min, y termina con un estado estacionario que dura también media hora, y en el cual las aguas tienen el nivel mínimo, por lo que se dice que están en *baja marea* o *baja mar*. Después de esto el nivel de las aguas comienza a aumentar y se repiten los hechos que acabamos de describir y cuyo conjunto constituye, como dijimos más arriba, el fenómeno de las *mareas*, que tiene lugar dos veces por día.

Se debe a Isaac Newton la primera explicación de ese fenómeno, y ella se basa, como veremos a continuación, en su ley de gravitación, con la que se llega a establecer que el fenómeno de las mareas es una consecuencia de la atracción de la Luna y del Sol (principalmente de la primera) sobre las aguas de los mares.

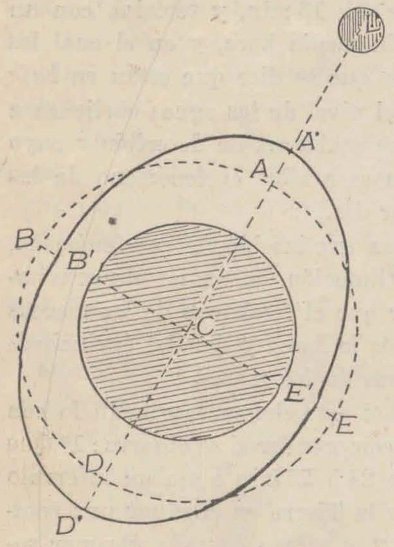
Que el fenómeno de las mareas está estrechamente vinculado con el movimiento de la Luna es fácil de comprender si se observa: 1º Que la duración de dicho fenómeno es de 24 h 52 min o sea un intervalo de tiempo casi igual al empleado por la Tierra en efectuar una rotación completa alrededor de su eje; 2º el atraso de cada pleamar sobre la anterior es de 50 min, es decir igual al atraso de un pasaje de la Luna ~~por el meridiano con respecto al anterior~~; 3º que para un lugar determinado, cuando la Luna está en sisigias la hora de la plena mar es aproximadamente la misma; 4º cuando la Luna está en el perigeo las mareas son las más fuertes que se producen y son más débiles cuando está en apogeo.

Que ese fenómeno depende también del Sol puede comprenderse si se tiene en cuenta el aumento que sufren las mareas cuando el Sol está en el perigeo, y que las mayores mareas que se producen en un determinado punto, tienen lugar cuando en la época de los equinoccios la Luna está cerca del Ecuador y en la proximidad de su perigeo.

Se ha podido determinar que la influencia de la Luna sobre la producción de las mareas es 2,3 veces mayor que la del Sol.

Veamos ahora la manera en que dichos astros actúan en la producción del fenómeno.

Supongamos a la Tierra esférica y totalmente rodeada por una delgada capa de agua. Consideremos una masa de agua A situada en un meridiano terrestre cuyo plano pase por el centro de la Luna, y la masa D diametralmente opuesta. Como de acuerdo con la ley de gravitación dos cuerpos se atraen con una fuerza proporcional a sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, la fuerza atractiva que la Luna ejerce sobre la masa A es mayor que la que ejerce sobre la D. Como este mismo razonamiento es válido para todas las moléculas resulta que en torno de A debido a la atracción lunar las aguas pierden su tendencia a estar ligadas a la Tierra y se elevan formando un pequeño promontorio dirigido hacia la Luna. En torno de D, también las aguas se elevan pero alejándose de la Luna, pues como la atracción de ésta es menor que la que se ejerce en A y en el centro C de la Tierra y por lo tanto éste tiende a acercarse a dicho astro.



En las proximidades de los puntos B y E situados en el plano perpendicular a la recta determinada por los centros de la Tierra y de la Luna, las aguas sufren una depresión, de manera que la capa acuosa ABDE que habíamos supuesto esférica toma la forma de un elipsoide alargado A'B'D'E'.

El fenómeno que acabamos de describir es el de las *mareas lunares*. Un razonamiento análogo puede hacerse para explicar las *mareas solares*, vale decir, la transformación de la envoltura acuosa en un elipsoide alargado cuyo eje mayor está dirigido hacia el Sol.

Habíamos dicho que la marea lunar era 2,3 veces mayor que la solar, y esto que parece extraño, si se tiene presente que la masa del Sol es 26 millones de veces mayor que la de la Luna, deja de serlo si se piensa que la distancia de la Luna a la Tierra es 400 veces menor aproximadamente que la de esta última al Sol.

Las acciones de la Luna y del Sol (*) sobre las aguas de los mares se ejercen simultáneamente, combinándose las dos mareas descriptas para dar lugar a la *resultante* única llamada *marea luni-solar.*

Las mareas que tienen lugar en los días de Luna nueva o llena son las de mayor altura, porque como en el primer caso la Luna y el Sol se encuentran en el mismo meridiano superior y en el segundo uno en el superior y otro en el inferior sus acciones se suman y ambas tienden a hacer levantar las aguas. Estas mareas que se llaman *mareas de las sisigias,* alcanzan su máximo en la época de los equinoccios, es decir, las *mareas de las sisigias equinocciales* son las mayores del año.

Por el contrario cuando se tiene Luna en cuarto menguante o creciente, las mareas, llamadas de *cuadratura,* son de pequeña altura, pues las acciones de los astros, cuyas longitudes difieren de 90°, se contrarrestan. Las mareas de las *cuadraturas equinocciales* son las menores que se producen durante un año.

Se ha podido observar en todos los puertos de mar, que las mareas no tienen lugar exactamente en los instantes en que tendrían que producirse por las posiciones que ocupan la Luna y el Sol con respecto al meridiano de esos puertos, sino con atrasos, variables de un lugar a otro, que pueden ser hasta de dos días.

Por ejemplo las más grandes mareas que, como hemos dicho, tendrían que producirse en el momento de las sisigias tienen lugar 30 ó 40 h más tarde, siendo constante el atraso en esa época para cada lugar.

Ese atraso es debido a que las aguas no cubren totalmente a la Tierra y por lo tanto influye en la propagación de su movimiento la configuración de las costas y la inercia que deben vencer las aguas para modificar la velocidad que tenían por efecto de la marea anterior.

Se conoce con el nombre de *establecimiento del puerto* en un lugar determinado, al atraso de la hora de la pleamar con respecto a la del pasaje de la Luna por el meridiano superior de ese lugar, cuando en el día de una sisigia equinoccial ella se encuentra a su distancia media con respecto a la Tierra.

(*) La influencia de los demás planetas sobre la producción de las mareas es insignificante.

CAPITULO XV

ESTRELLAS Y NEBULOSAS

PROGRAMA. — *Estrellas y constelaciones. Enjambres de estrellas. Nebulosas gaseosas. La Vía Láctea. Nebulosas espirales. Hipótesis de Laplace.*

150. **Estrellas.** — NOMENCLATURA. — Antiguamente se acostumbraba a nombrar las estrellas más brillante de un grupo de ellas, llamado *constelación*, con un nombre propio, griego o árabe generalmente, o indicando la posición de dicha estrella en la constelación. Así, por ejemplo, se decía *Sirio la estrella más brillante del cielo*, las *estrellas del cinturón de Orión*, etc.

Más tarde estuvo en auge el designar a las estrellas por letras griegas siguiendo el dibujo de la constelación y teniendo en cuenta su brillo. Así tenemos que a *Betelgeuse* se le llamó α *Orionis*, a *Rígel*, β *Orionis*, y a *Bellatrice*, γ *Orionis*, etc.

Cuando las letras del alfabeto griego no eran suficientes para designar las estrellas de una constelación se usaban las del abecedario latino.

Actualmente el empleo de los grandes telescopios y el de la fotografía en especial, han permitido aumentar considerablemente el número de las estrellas determinadas con toda precisión, estimándose en 2 millones, aproximadamente, ese número, entre los 3 ó 4 millones de estrellas que revelan las placas fotográficas. Por esta razón resultan deficientes las notaciones que habíamos señalado en los párrafos anteriores y en nuestros días se nombra a una estrella, según el caso, por cualquiera de estos procedimientos: 1º por su antiguo nombre si es una de las más brillantes, 2º por cualquiera de las notaciones explicadas si es una estrella visible a simple vista, y en los demás casos, 3º por el nombre del catálogo en que figura y el número de orden que ocupa en el mismo. Se dice, por ejemplo, 125 Lacaille, 284 Groombrigde, 243 Córdoba, etc., o 4º por sus coordenadas ecuatoriales absolutas.

MAGNITUD DE UNA ESTRELLA. — Si se observa a simple vista el cielo estrellado, llama la atención inmediatamente, el hecho de que las estrellas presenten diversos grados de brillo o luminosidad. Los griegos habían clasificado a las estrellas de acuerdo con su brillo, en seis clases o *magnitudes*, que distinguían con las letras α, β, γ, δ, ε, ζ.

Esta manera de clasificar a las estrellas, fué utilizada durante mucho tiempo hasta que Flamsteed, utilizó cifras en lugar de letras griegas, llamando estrellas de primera magnitud a las más brillantes, y de sexta magnitud a las de menor brillo, pero observables a simple vista en noches sin Luna por las personas de vista normal. Las magnitudes intermedias se establecieron en forma tal que el aumento o disminución de la sensación percibida por el ojo al pesar de una magnitud a otra menor o mayor, respectivamente, fuese el mismo.

Esta escala fué prolongada más allá de la sexta magnitud, para comprender a las estrellas visibles solamente con el empleo de instrumentos, pero como estaba basada en un hecho puramente fisiológico carecía de exactitud, como lo prueba el que apoyándose en ella se obtuvieran distintos valores para la magnitud de una misma estrella.

En la actualidad con el objeto de armonizar los resultados obtenidos por la aplicación de las distintas escalas adoptadas en los antiguos catálogos, se establecen las magnitudes de las estrellas en forma tal que mientras los números que las expresan aumentan en progresión aritmética de razón 1, la intensidad luminosa disminuye en progresión geométrica siendo $\sqrt[5]{100} \cong 2{,}512$ su razón. Esta escala se conoce con el nombre de *ley de Pogson*, y su cero se ha elegido en forma tal que los resultados obtenidos mediante su aplicación concuerden, en lo posible, con el Durchmusterung (catálogo) de Bonn.

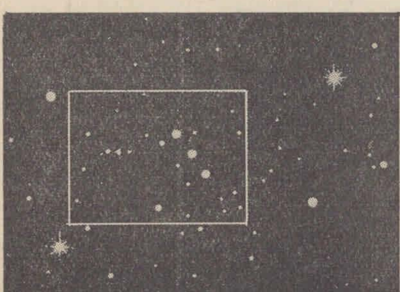
De acuerdo con ella resulta que una estrella es de *segunda magnitud* si es 2,512 veces menos brillante que una de primera, de *terce-*

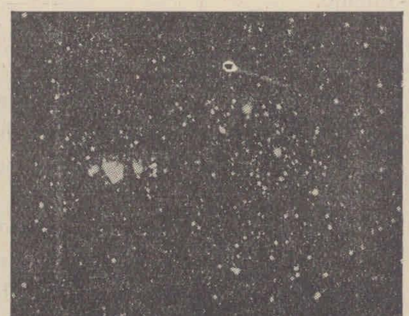
ra si es 2,512 menos que la de segunda o sea $2{,}512^2$ veces menos brillante que la de primera, etc., de sexta magnitud si es $\left(\sqrt[5]{100}\right)^5 = 100$ veces menos brillante que una de primera. Como ejemplos de estrellas de primera magnitud tenemos a Vega y Arturo.

Se dice que una estrella es de *magnitud cero* cuando es 2,512 veces más brillante que una de primera, que es de *magnitud* — 1, — 2, . . . etc., cuando es $2{,}512^2$, $2{,}512^3$ etc., más brillantes que la de primera magnitud. Canopus es una estrella de magnitud — 1, Sirio de — 2. Apreciando en esa misma escala la intensidad luminosa de la Luna y del Sol resulta que las magnitudes de dichos astros son — 12 y — 27 respectivamente.

La magnitud de una estrella se indica con la letra m.

Número de estrellas. — Como los anteojos tienen la propiedad de concentrar en su objetivo mayor cantidad de luz que el ojo humano, con el empleo de los mismos se ha conseguido aumentar considerablemente el número de las estrellas observables a pesar de





Constelación de Orión, observada a simple vista y con un anteojo de poco aumento. « *Le Ciel* ».

ser de un orden de *magnitud* muy elevada o sea de brillo muy débil.

Así, por ejemplo, con un anteojo de teatro se pueden ver estrellas de 9ª magnitud; con la ayuda del telescopio del Observatorio de Lick, cuyo objetivo tiene un diámetro de 90 cm, se observan estrellas de la 17ª magnitud y con el telescopio del Observatorio de

Monte Wilson de 2,5 m de abertura de objetivo, se alcanzan a ver hasta las de magnitud 19ª.

Empleando la fotografía se han podido obtener placas con impresiones de estrellas de la 21ª magnitud o sea cuyo brillo es 1 000 000 de veces menor que el de las de 6ª magnitud.

El número de estrellas visibles a simple vista es, teniendo en cuenta su magnitud, el siguiente:

1ª *m* 20; 2ª *m* 53; 3ª *m* 157;

4ª *m* 506; 5ª *m* 1740; 6ª *m* 5170.

Puede observarse que el *número de estrellas de una magnitud es, aproximadamente, tres veces mayor que el de las de orden inmediato inferior.* Esta ley aproximada parece conservarse hasta las de 17ª *m.*

Un observador situado en el Ecuador donde, según sabemos (nº 18), todas las estrellas son visibles, alcanza a ver sin el empleo de instrumentos, unas 6000 estrellas, número mucho menor que el que uno se imagina al mirar simplemente el cielo estrellado.

En cualquier otro punto de la Tierra solo es posible ver unas 3000 estrellas.

151. **Naturaleza y temperatura de las estrellas.** — El análisis espectral cuya utilidad en el estudio de la Naturaleza del Sol, que es la *estrella más cercana* a nosotros, hicimos notar en su oportunidad (nº 84), ha permitido también determinar la composición química de las sustancias existentes en las estrellas y la temperatura a que se encuentran dichas sustancias.

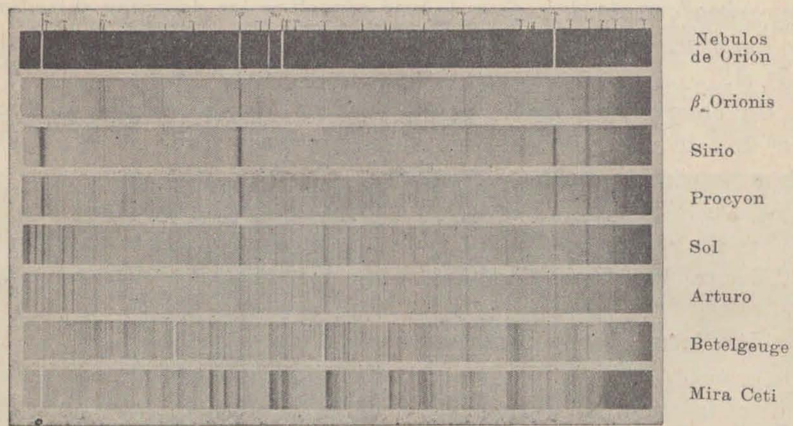
Así, en los espectros estelares se encuentran rayas negras de absorción, que muestran que ellas poseen un núcleo incandescente rodeado por una atmósfera gaseosa menos densa y de temperatura más baja, que es la que absorbe las rayas brillantes.

El estudio de los espectros estelares al permitir determinar las temperaturas de las estrellas, ha dado lugar a la clasificación de las mismas de acuerdo con esa temperatura y color, que damos a continuación:

GRUPO 1º — Estrellas *blancas,* Vega y Sirio por ejemplo, de *muy elevada temperatura,* de 27000° a 8000°. Sus espectros presentan pocas rayas negras, en las que predominan las correspondientes al *hidrógeno* y al *helio.*

GRUPO 2º — Estrellas *amarillas,* Arturo y Capella por ejemplo, de *elevada temperatura,* de 8000° a 5000°. Sus espectros presentan numerosas rayas negras que denotan la existencia de vapores metálicos como los de *calcio, hierro, manganeso,* siendo menor, en cambio, el número de las rayas de hidrógeno.

El Sol por el espectro de su luz podría catalogarse entre estas estrellas.



Fotografías de tipos de espectros estelares. Observatorio de Lowell.

GRUPO 3º — Estrellas *rojas de* 6000° a 4500° *temperatura,* Betelgeuse y Antarés por ejemplo, cuyos espectros presentan las rayas obscuras correspondientes al *óxido de titanio.*

GRUPO 4º — Estrellas *rojas de* 4500° a 3000° *temperatura,* cuyos espectros revelan la existencia de *óxido de carbono.*

Esta clasificación, debida al padre Angel Secchi, que nos muestra la relación existente entre el color de una estrella y su temperatura, nos permite afirmar que las estrellas *blancas* son las *más calientes* y las *rojas* las *más frías.*

Conviene hacer notar que la preponderancia de las rayas correspondientes a un elemento, en el espectro de la luz de una estrella *no debe* interpretarse como abundancia de ese elemento en la composición química de la última, pues generalmente la presencia de las mencionadas rayas es consecuencia de la temperatura de esta última. Así, por ejemplo, cuando la estrella es muy caliente, los gases más livianos como el hidrógeno y el helio, flotan por encima de los demás y absorben sus rayas.

Una aplicación muy interesante del conocimiento de las temperaturas de las estrellas, es el cálculo de los volúmenes de las mismas.

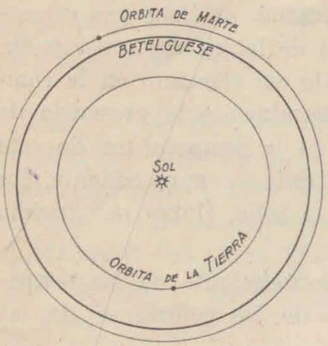
Teniendo en cuenta que en una estrella la cantidad de luz irradiada por unidad de superficie depende de su temperatura; que ésta puede medirse por el espectro de su luz y que es posible calcular su irradiación por la luz que de ella se recibe en la Tierra, resulta que con estos últimos valores se determina la superficie de irradiación y por lo tanto el valor absoluto de su diámetro.

El astrónomo Hertzsprung predijo en 1905 los diámetros de varias estrellas que luego las mediciones modernas directas han confirmado ampliamente.

Para efectuar estas mediciones se ha recurrido al aparato llamado *interferómetro,* con el que en el Observatorio de Monte Wilson se han medido directamente los de varias estrellas *rojas* y *amarillas* muy visibles. Como son éstas las estrellas de menor temperatura, resulta que para producir el brillo que tienen necesitan ser de un gran volumen, y por lo tanto, son las más favorables para hacer posible la medición de sus diámetros aparentes.

Se han medido así estrellas *rojas* de un diámetro aparente de 0″05 de arco y *amarillas* de 0″02; en cambio no se ha podido medir directamente, todavía, el diámetro aparente de una estrella blanca.

Con estas determinaciones se han obtenido resultados verdaderamente curiosos. Por ejemplo, hay estrellas, como Arturo y Capella, que tienen la misma temperatura que el Sol y que siendo sus diámetros 10 veces menor que el de dicho astro, presentan un *diámetro* *aparente* de tan solo 0″007 de arco, lo que da una idea de la distancia enorme que las separa de nuestro planeta.



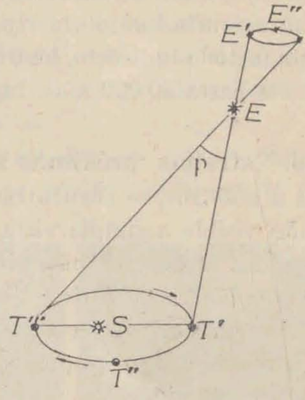
Otras estrellas, como Betelgeuse por ejemplo, tienen un diámetro 300 veces mayor que el del Sol y por lo tanto un volumen 25000000 veces mayor, en cambio su densidad es solo 0,001 de la de nuestra atmósfera, lo que prueba lo sutil de la materia que forma a dicha estrella.

Para dar una idea del tamaño de Betelgeuse pensemos en que estaría contenida en ella la órbita de la Tierra y que casi alcanzaría a tocar a la de Marte como se muestra en la figura.

152. **Distancia de las estrellas a la Tierra.** — El conocimiento de las distancias a que se encuentran las estrellas del centro de nuestro planeta, es uno de los problemas astronómicos más importantes y necesarios. Vimos la gran dificultad que se presentaba al medir la distancia Sol-Tierra tomando una base tan reducida como lo es, con respecto a esa distancia, una cuerda terrestre, por lo pequeños que son los ángulos que se utilizan en dicho cálculo. Esa dificultad es tan grande en el caso de las estrellas que hace imposible la operación con la mencionada base, y explica el hecho de que antiguamente no se conocieran ninguna de esas distancias.

Moviéndose la Tierra alrededor del Sol, si se observa una estrella E cercana a nosotros, debe vérsele describir, en el transcurso de un año, una pequeña elipse sobre el fondo de las estrellas más lejanas. Esta fué, como vimos antes, una de las pruebas que se le exigió a la teoría heliocéntrica de Copérnico para su aceptación, pero que recién en los tiempos modernos pudo comprobarse, dada la enorme distancia que nos separa de la más próxima que es de 275 000 unidades astronómicas.

Para medir la distancia de la Tierra a una estrella muy próxima, se tomó como *base* el eje mayor de la órbita de la Tierra que mide dos unidades astronómicas (aproximadamente 300 000 000 Km). Midiendo los ángulos ET'T''' y ET'''T' pudo hallarse el ángulo p = T'ET''' que las visuales desde la estrella E forman con el diámetro mayor de esa órbita. Dicho ángulo se llama *paralaje anual* de la estrella.



Para expresar las distancias que nos separan de las estrellas, ha sido necesario adoptar una unidad mucho mayor que la *unidad astronómica,* siendo la más empleada el *año luz* o sea el camino recorrido al cabo de un año, por un rayo de luz, que se propaga con una velocidad constante de 300000 Km por segundo.

Una estrella situada a 100 años luz tiene un paralaje anual de 0,03 de segundo de arco, que es perfectamente apreciable con los instrumentos de que disponen los astrónomos modernos. Se han medido las distancias de todas las estrellas visibles alejadas menos de 300 años luz con gran precisión y aproximadamente las de aquellas cuya separación es menor de 1000 años luz.

Las magnitudes de las que hemos hablado en los párrafos anteriores se llaman *magnitudes visuales aparentes,* pues se establecen sin tener en cuenta las distancias de las estrellas a la Tierra, y por lo tanto, poco dicen respecto de la luminosidad *real* de las mismas, pues, de acuerdo con lo estudiado en Optica, sabemos que la intensidad de la luz que recibimos de una fuente luminosa es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que nos separa de ella.

Como las distancias de las estrellas a la Tierra son muy variables, con el objeto de comparar la intensidad de la luz de las mismas, se ha definido la *magnitud absoluta* o *luminosidad intrínseca de una estrella, que es la magnitud que tendría esa estrella si estuviese situada a 33 años luz de la Tierra.*

De acuerdo con esto resulta que el Sol es una estrella de 5ª *magnitud absoluta* (su magnitud aparente era — 27), Betelgeuse es de — 3ª *magnitud absoluta* y Rígel de — 6ª.

Se acepta de acuerdo a las ideas de Hertzsprung que existe una relación entre *luminosidad, color* y *temperatura* de las estrellas, de manera que determinando las dos últimas con ayuda del análisis espectral, puede determinarse la luminosidad de la estrella y con ella su *magnitud absoluta espectroscópica.*

Este método indirecto, ha dilatado el conocimiento de las distancias estelares hasta 50 000 años luz.

153. **Estrellas próximas al Sol.** — Entre las estrellas más cercanas a nosotros, se encuentra Sirio con sus dos componentes A y B (siendo visible a simple vista la A de — 1ª magnitud mientras su compañera B es de 8ª magnitud).

El *compañero débil de Sirio* y la estrella llamada de *Van Maanen* de 12ª mag. pertenecen a las llamadas estrellas «*enanas blancas*», de un volumen muy pequeño comparado con el Sol y de una densidad muy grande.

Según la explicación del astrónomo Eddington estas estrellas constituyen una de las pruebas evidentes de las modernas hipótesis sobre la estructura de la materia.

El compañero de Sirio da 400 veces menos luz que el Sol, siendo en cambio más caliente que él pues es una estrella blanca. Da más luz por unidad de superficie que el Sol, es más pequeño que Urano pero en cambio es tan pesado como el Sol.

De su masa y volumen se deduce su densidad que es 27000 veces la del agua, es decir, un dm^3 de la sustancia de Sirio B pesa 27 toneladas.

Pero lo más extraño es que el análisis espectral revela la existencia de hidrógeno, el gas más liviano ($\delta = 0{,}0001$ de la del agua).

La explicación de este fenómeno debemos buscarla en las ideas modernas sobre la constitución de la materia.

En una sustancia cualquiera existen muchísimos espacios vacíos, pues el *átomo*, la parte más pequeña de la materia, es un diminuto sistema planetario formado por un pequeño núcleo, el *protón*, alrededor del cual giran otras partículas mucho más livianas, los *electrones.*

El átomo de hidrógeno, por ejemplo, tiene un protón pesado y un solo electrón, mientras otros cuerpos simples tienen varios electrones.

En circunstancias ordinarias en nuestro planeta, los electrones giran a gran velocidad dentro de una órbita fija siendo el átomo un ente muy estable.

El tamaño de un átomo en estas circunstancias está dado por el tamaño de la órbita del electrón más alejado, de manera que si ésta tiene un diámetro de un billonésimo de centímetro, por ejemplo, esa sustancia, que puede ser el hidrógeno, podrá comprimirse hasta contener un billón de átomos por centímetro.

Pasemos ahora al interior de una estrella en que la temperatura alcanza, probablemente, millones de grados (en el Sol la tem-

Tres fotografías mostrando el movimiento propio de *Próxima* y de *α Centauro*.
(Fotografía del Observatorio de Harvard).

peratura interior debe ser 40 000 000°) y elevadísimas presiones, los átomos han perdido sus electrones quedando formados únicamente por sus potrones, disminuyendo enormemente de tamaño y la sustancia que compone a la estrella se comprimirá hasta alcanzar densidades desconocidas en la Tierra, como sucede en el compañero de Sirio.

Las estrellas *Próxima* y *α del Centauro* son las que se encuentran más cerca de nosotros (4,2 y 4,3 años luz) formando parte de un grupo de estrellas que se mueven juntas.

La primera fué descubierta en 1911 y su desplazamiento a través de las estrellas que le sirven de referencia se ve en las fotografías tomadas en los años 1901, 1910 y 1925.

Respecto de α del Centauro su movimiento la lleva a aproximarse a β del Centauro lo que traerá como consecuencia dentro de 4000 años, que se nos presenten como una estrella doble y después de dicho lapso de tiempo se separarán nuevamente.

154. **Movimientos propios de las estrellas.** — Se creía hasta principios del siglo XVIII, que las posiciones de las estrellas eran invariables, y solíase llamarlas *estrellas fijas* en contraposición a los *planetas* pues este nombre, como dijimos oportunamente, quiere decir *astros errantes.*

En el año 1718 el astrónomo Halley, pudo comprobar por la comparación de los valores de las coordenadas de las estrellas Arturo, Aldebarán y Sirio calculadas ese año, con los que daban los catálogos de épocas anteriores, que dichas estrellas habían cambiado de posición. Sus trabajos fueron confirmados y ampliados más tarde por los astrónomos Cassini y Mayer.

Como los cambios de posición notados por los astrónomos citados, se encontraron después de efectuar las correcciones para eliminar la influencia que sobre la posición de las estrellas tienen la refracción y la aberración de la luz y la precesión de los equinoccios, constituye una prueba de que las estrellas poseen un *movimiento propio,* vale decir, que se mueven unas respecto de otras.

En nuestros días se admite, sin ninguna restricción, que todas las estrellas se mueven, y el estudio de la determinación precisa de esos movimientos constituye uno de los problemas más importantes y difíciles de la Astronomía Estelar.

Se comprenderá su dificultad si se tiene en cuenta que los desplazamientos angulares son pequeñísimos y sumamente lentos, pues en muchas no alcanza a valer $1''$ por año y el máximo es de $10''$ en ese mismo tiempo.

Siendo enormes las distancias de las estrellas a la Tierra, resulta que a esos pequeños movimientos angulares corresponden recorridos muy grandes y velocidades tangenciales considerables. Así, por ejemplo, la estrella Sirio recorre anualmente un arco de $1''$, lo que significa que emplearía aproximadamente 1400 años en recorrer una distancia angular igual al diámetro aparente de la Luna, pero dada la distancia de esa estrella a la Tierra resulta que el recorrido real es de 640 000 000 Km por año siendo su velocidad de 10 Km/seg.

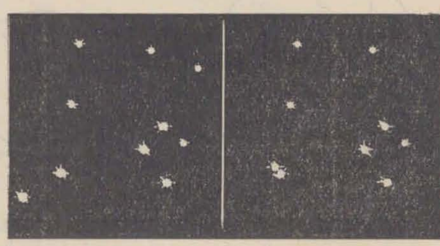
Hay estrellas como Sirio y Antarés cuyos desplazamientos anuales son iguales y sin embargo como Antarés está 40 veces más alejada de nosotros que Sirio, su velocidad real es 40 veces mayor.

Además del movimiento que acabamos de señalar y cuya dirección sería para cada estrella perpendicular a la visual dirigida a las mismas desde la Tierra, ellas poseen otro, según esa visual, de acercamiento o alejamiento de la Tierra.

La velocidad del movimiento en esa dirección, llamada *velocidad radial,* ha sido determinada en intensidad y sentido con mucha precisión por medio de la aplicación del principio de Doppler a los espectros de la luz emitida por las estrellas, donde se han medido el corrimiento de las rayas de los mismos (*).

En base a lo anterior se ha podido determinar que Betelgeuse, Rigel, Regulo, Castor, etc., se *alejan* de la Tierra con velocidades de 20 Km/seg, 15 Km/seg, 28 Km/seg y 15 Km/seg respectivamente, y en cambio, se *acercan* a ella, α del Cisne a razón de 39 Km/seg, Vega a 46 Km/seg, Arturo a 55 Km/ seg, etc.

El movimiento real de las estrellas es el que resulta de la composición de los que hemos explicado, y trae como consecuencia el cambio de forma de las constelaciones y por lo tanto el aspecto del cielo. Conviene sin embargo insistir en que dada la pequeñez aparente de esos movimientos, deben transcurrir miles de años para que esas deformaciones sean apreciables a simple vista.



Aspecto de las constelaciones de la *Cruz del Sur* y del *Centauro* en la actualidad y dentro de 4000 años.

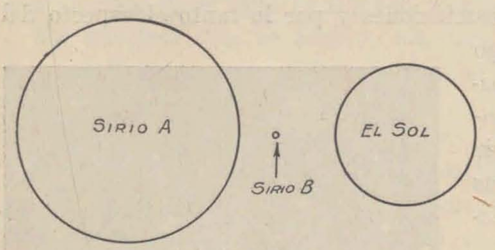
Habíamos dicho que el Sol era también una *estrella,* la más cercana a nosotros. Cabe, pues, hacer

(*) El principio de Doppler establece que:
Si una fuente luminosa se acerca (aleja) de un observador, las rayas del espectro de su luz sufren, con respecto a las posiciones de las mismas cuando la fuente está fija, un corrimiento hacia el rojo (violeta) proporcional a la velocidad del movimiento

notar que respecto de su movimiento propio se comporta también como tal, pues se traslada en el espacio con una velocidad de 20 Kg/seg, aproximadamente, seguido por todo el sistema solar; dirigiéndose hacia un punto próximo a la estrella Vega o sea α de la Lira, como ha podido establecerse por el estudio de los movimientos de las estrellas.

155. **Estrellas dobles.** — En el año 1650 con el empleo del teloscopio, se descubrió que la estrella Zeta de la constelación de la Osa Mayor estaba formada por dos, es decir, era una *estrella doble.*

Actualmente se conocen más de 20000 estrellas dobles, pues el telescopio del Observatorio de Monte Wilson, por ejemplo, permite observar las dos componentes de una de esas estrellas, cuando la separación aparente entre las mismas alcanza hasta un 0″1 de arco (*). Con el empleo del interferómetro pueden evidenciarse estrellas dobles cuyas componentes están a una distancia aparente de hasta de 0″01 de arco, y por último la aplicación del principio de Doppler a los espectros estelares ha permitido descubrir estrellas y calcular, de acuerdo con las variaciones de esos espectros, las órbitas de esos astros tan lejanos comprobando, además, que se rigen por la ley de la gravitación de Newton.



Otra estrella doble muy conocida es Sirio, de cuya componente débil Sirio B hablamos anteriormente.

La existencia de la *compañera de Sirio,* como se la llama comunmente, es uno de los hechos que, como en el caso de Neptuno y Plutón, fueron aceptados antes de su descubrimiento por el telescopio, por las predicciones hechas mediante el cálculo.

Siendo Sirio una estrella «*cercana*», distante 10 años luz, se había podido constatar en ella, perfectamente, un movimiento de vaivén que de acuerdo con las leyes de la gravitación debía ser producido

(*) Apreciar 0″1 de arco equivale a distinguir los faroles delanteros de un automóvil a 1300 Km. de distancia y apreciar 0″01 es distinguirlos a 29000 Km.

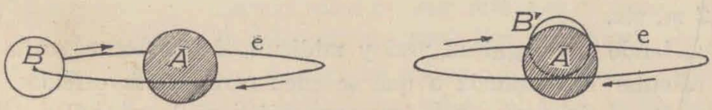
por la atracción de otra estrella. Se la llamó Sirio B y se calculó que el movimiento de rotación alrededor del centro de gravedad del sistema formado por Sirio y Sirio B se efectuaba en unos 50 años aproximadamente. Algún tiempo después el telescopio lo descubrió, confirmando una vez más las leyes de la gravitación.

Se calcula, en nuestros días, que el número de estrellas dobles alcanza a un 10 % del número total de estrellas.

Es también una estrella doble α del Centauro con un período de revolución de 80 años.

Paralela a α del Centauro se mueve Próxima, la estrella más cerca a nosotros, formando con α del Centauro una *estrella doble aparente,* pues en realidad son independientes y están separadas por millones de kilómetros.

156. **Estrellas dobles de luz variable.** — Entre la enorme cantidad de estrellas dobles hay algunas en que el plano de sus órbitas pasa por la Tierra. En tales casos cuando una de las componentes es de débil brillo se producen, periódicamente, una especie de eclipse en el momento en que la componente obscura tapa parcial o totalmente a la brillante, produciendo una variación periódica de brillo.



Este es el caso de la estrella *Argol* o β *de Perseo* en que la componente débil A tiene un diámetro algo mayor que la B, cambiando, por lo dicho anteriormente, periódicamente de 2ª a casi 4ª magnitud, lo cual puede comprobarse a simple vista.

Actualmente se han encontrado más de 200 estrellas dobles variables.

157. **Estrellas simples variables.** — A diferencia de las variables dobles cuyo cambio de luz ha sido fácil de explicar, se han descubierto estrellas simples, que sufren variaciones en su luz sin que intervengan otros cuerpos. El número de estrellas de este tipo

conocidas en nuestros días pasa de un millón y se clasifican en los siguientes grupos:

Estrellas Cefeidas. — Son estrellas cuya luz sufren variaciones aparentes de una magnitud.

La primera estrella en que se observó este fenómeno fué δ *de Cefeo*, de la cual tomaron el nombre genérico de *cefeidas*.

La estrella más brillante que se conoce de este tipo es la *Estrella Polar*.

Se caracterizan las cefeidas porque sus intervalos de variación son rigurosamente iguales, y de acuerdo a la hipótesis más aceptada de los astrónomos Shapley y Eddington, son producidas por cambios de volumen, sufriendo la estrella una especie de «*pulsación*».

Estas estrellas están situadas cerca de la Vía Láctea y su movimiento real es de 8 a 10 Km/seg.

Hace algunos años (1912) la observación de las cefeidas, llevó a la conclusión de que había una íntima relación entre su «*magnitud real*» y su *período de pulsación.*

Así, por ejemplo, si la pulsación de una cefeida es de 2 días su magnitud real, cualquiera que sea el lugar donde se encuentra, es 6,2 *m;* si su pulsación es de 3 días es de 7,1 *m;* si tarda 10 días es de 8,2 *m*, etc.

Conociendo su magnitud real y midiendo la aparente, se ha podido calcular la distancia a que se encuentran estas cefeidas.

Cuando se observan grandes agrupaciones de estrellas, como son, por ejemplo, las *Nubes de Magallanes,* y se logra encontrar entre ellas a estrellas variables, lo que es fácil por el hecho de ser estas estrellas unas 1000 veces más brillantes que el Sol, puede calcularse aproximadamente la distancia inmensa que nos separa de esas agrupaciones. Gracias a ellas ha podido sondearse al espacio hasta apreciar distancias de millones de años luz.

Grupos variables. — Se han encontrado, además, *grupos de estrellas variables* de período menor que el de las cefeidas, algo irregular, y que tienen con éstas grandes analogías. Estos grupos variables no tienen preferencia por ningún lugar del cielo y están animados de gran velocidad, que pasa de los 100 Km/seg.

Estrellas variables de largo período. — Son todas estrellas del tipo rojas gigantes, teniendo grandes dimensiones como Betelgeuse y Antarés y dotadas de rápido movimiento (más de 60 Km/seg).

Tienen un período aproximado de un año para sus variaciones de brillo, que oscilan de 2ª a 9ª magnitud real.

La primera estrella de este tipo que se observó fué *Mira Ceti.*

Variables particulares. — Fuera de estas clases variables hay otras cuyos cambios no guardan ninguna ley de variación conocida. Se acepta, de acuerdo a las observaciones, que los cambios de brillo de esas estrellas son producidos por moverse dentro de un medio opaco.

Se han encontrado variables de este tipo en la *Nebulosa de Orión* y en la *nube de la constelación de la Corona Austral.*

158. **Estrellas Novas.** — La observación continua del cielo revela, a veces, la transformación rápida de una estrella muy débil, o casi invisible, en otra cuyo brillo sobrepasa al de todas las estrellas.

En el breve intervalo de tiempo que se produce ese fenómeno, la estrella aumenta su volumen hasta hacerse millones de veces mayor, con una velocidad radial de más de 1000 Km/seg. hasta alcanzar, al cabo de algunos meses o años, su máximo esplendor, después de lo cual la estrella decae de brillo para volver, al cabo de un período relativamente breve, a ser nuevamente una débil estrella o desaparecer por completo.

A estas estrellas se les llama *nuevas* o *novas* y aparecen, término medio, una por año, no pudiéndose por lo tanto atribuir su cambio de brillo a choques entre estrellas, pues según dijimos, las distancias que las separan son enormes y las velocidades con que se mueven son escasas; luego un encuentro solo es posible en un período no menor de un billón de años.

Se trata de explicar este fenómeno suponiendo que la *nova* atraviese una nebulosa formada por tenue gas, y que el frotamiento producido es tan grande que provoca el aumento de su luminosidad.

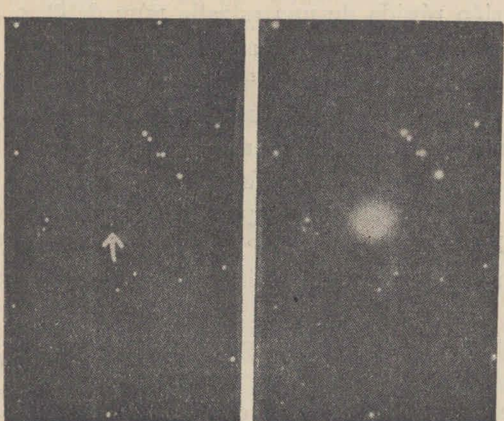
Dado el escaso conocimiento que se tiene sobre la naturaleza interna de las estrellas, también puede admitirse la posibilidad de que ese fenómeno dependa de su naturaleza interna.

La primera nova metódicamente observada fué la *Nova de 1572* en la constelación de Casiopea efectuada por Tycho Brahe. El brillo de esa estrella superó al de Júpiter siendo visible en pleno día. Actualmente ha descendido al de una estrella de 12ª magnitud.

Otra *nova* importante fué la de 1604 observada por Kepler.

La *nova de 1818* en la constelación del Aguila, aumentó de 10ª magnitud a la — 1 a o sea 300000 veces más brillante que el Sol, en brillo absoluto. El aumento de su diámetro se efectuó con una velocidad de 1500 Km/seg.

La *nova Pictoris de 1925* ha sido la más importante de los últimos años. Aumentó de la magnitud 12ª hasta a ocupar el lugar de una de las estrellas más brillantes, decayendo después para ser ahora una estrella de 7ª magnitud.



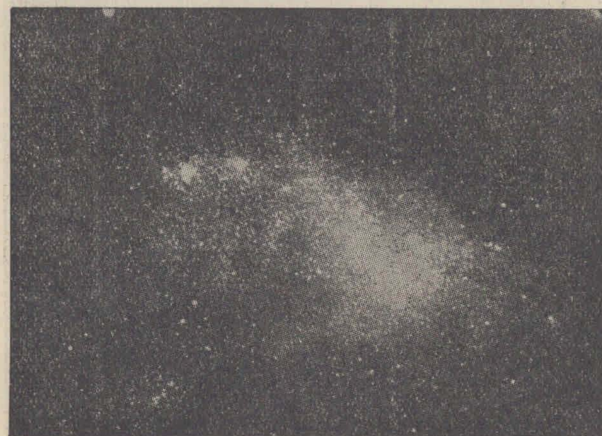
Fotografías del Observatorio de Harvard.

La 1ª fotografía muestra a la estrella en 1902, en Mayo 25 de 1925 había aumentado su diámetro hasta llegar a ser 50 veces el del Sol y en Junio 9 del mismo año a 100 veces. La 2ª fotografía muestra a *Nova Pictoris* en Septiembre de 1925 cuatro meses después de haber alcanzado su máximo brillo.

159. **Enjambres de estrellas.** — La observación de las distancias y velocidades de las estrellas nos revela una tendencia general a agruparse formando los llamados *enjambres, cúmulos* o *montones* de estrellas.

El más cercano de todos parece ser un enjambre de 30 estrellas, entre las que se encuentran Sirio y las estrellas de la Osa Mayor. Estando nosotros casi entre ellas y como aparecen las estrellas muy distantes, sólo después de miles de años, cuando el enjambre se halle alejado de nosotros, disminuyendo aparentemente sus distancias, se verá fácilmente el agrupamiento.

El *enjambre de las Hyades,* formado de estrellas de 4ª y 5ª mag., situado a 150 años luz, se encuentra ya en esa posición, formando



Fotografía de la *Pequeña nube de Magallanes* tomada en el Observatorio Harvard (Arequipa)

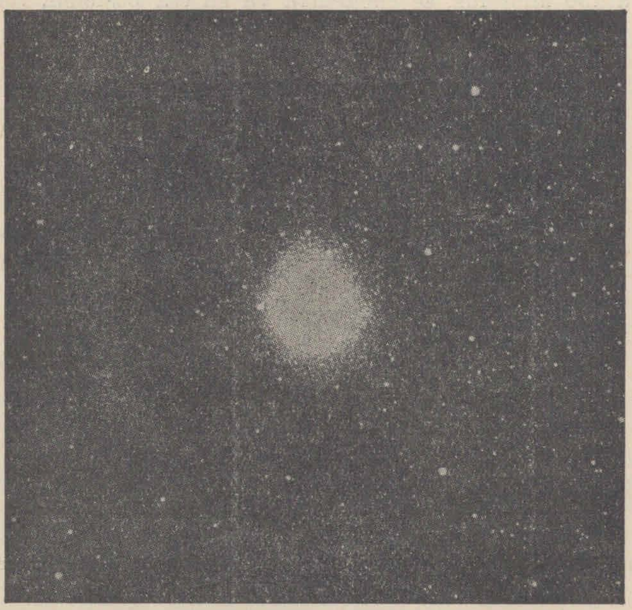
un grupo cerrado alrededor de la estrella Aldebarán en la constelación del Toro.

El *enjambre de las Pleiades,* situado también en la constelación del Toro, dista de nosotros 400 años luz.

El *enjambre de Perseo,* formado de estrellas de 8ª magnitud está todavía más distante, viniendo luego los llamados *enjambres dispersos* formados por estrellas telescópicas, en números de cientos o miles, con una estrella más brillante en el centro. En nuestros días se ha determinado más de 200 grupos de esta clase.

Los *enjambres globulares* están formados por estrellas cuyo número no se ha podido determinar, pues el telescopio de más poder no ha conseguido «resolverlo» completamente.

Estos enjambres son todos telescópicos a excepción del *enjambre ω Centauro,* visible a simple vista como una estrella difusa de 4ª magnitud, estando formado en realidad por estrellas de 10ª mag.



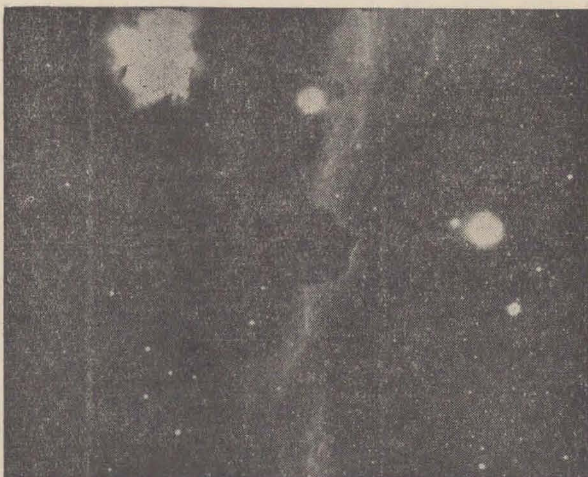
Fotografía del enjambre globular *Omega Centauro,* el más cercano a nosotros (20 000 años luz), Observatorio Harvard.

El nombre de enjambres globulares, cuadra perfectamente con sus imágenes telescópicas que son enormes agrupamientos esféricos, tan densos en sus centros que tienen la apariencia de un globo.

Se han encontrado en esos enjambres estrellas periódicas y *novas* y en base a ellas se ha podido determinar las distancias que nos separan de esos enjambres. En el caso de ω Centauro, el enjambre más cercano, dista 20000 años luz. Otros alcanzan distancias de 100 a 200000 años luz.

160. **Nebulosas gaseosas.** — Las *nebulosas gaseosas* son enormes masas gaseosas brillantes u opacas, formadas según Eddington por condensaciones del « gas » que llena los espacios interestelares.

Las nebulosas deben tener una densidad tan pequeña, que sería muy superior al « vacío » obtenido por los mejores métodos de nuestros laboratorios.



Fotografía de la nebulosa gaseosa *Cabeza de Caballo* cerca de la estrella φ Orión, Observatorio Monte Wilson.

Podemos tener una idea del grado de enrarecimiento de esa materia al suponer que 1 cm^3 de la misma está expandido en un volumen de 1 Km^3.

Cuando son brillantes es porque se encuentran en las inmediaciones de una gran estrella, de la cual reflejan la luz. Se admite también que su brillo es producido por sus átomos ionizados por la luz de la misma.

Cuando son opacas, aparecen como « agujeros negros », llamados, en la Vía Láctea, *sacos de carbón,* los que se ponen de manifiesto por contraste con un fondo de estrellas brillantes, como sucede en las proximidades de la Cruz del Sur, como se ve en la fotografía.

161. **La Vía Láctea.** — Se conoce con el nombre de Vía Láctea a una enorme faja luminosa de bordes difusos, de aspecto luminoso y blanquecino, de un espesor y brillo variables, que da vuelta al cielo.

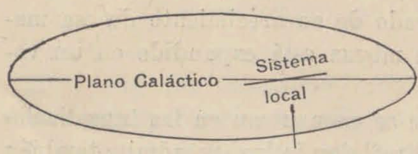
Nosotros estamos en inmejorables condiciones para observarla, pues su parte más brillante está en las proximidades de la Cruz del Sur.

En la constelación del Cisne se divide en dos ramas, continuando la principal a través de las constelaciones de Aguila y Sagitario, mientras la otra rama llega hasta la constelación de Ofiuco donde desaparece.

En muchos lugares y especialmente en la constelación de Sagitario donde es muy brillante, se forman verdaderas nubes de estrellas, apareciendo como contraste con ellas manchas obscuras o « *sacos de carbón* », que, como vimos, eran nebulosas opacas que ocultaban el brillo de las estrellas.

A pesar de su aspecto de nebulosa el telescopio muestra que está formada por gran número de débiles estrellas.

Los astrónomos Herschel y Kapteyn dedicaron gran parte de sus vidas a estudiar la estructura o forma del espacio ocupado por todas las estrellas del cielo, y en especial por las estrellas que forman la Vía Láctea, llegando a la conclusión de que todas las estrellas constituyen un conjunto armónico, llamado desde entonces Sistema de la Vía Láctea o Galaxia.



Según estos astrónomos la Galaxia tiene la forma de un reloj o sea la de un elipsoide achatado. Esta forma explica por que aparentemente hay regiones más densas de estrellas que otras, que serían las que corresponden al eje mayor del elipsoide.

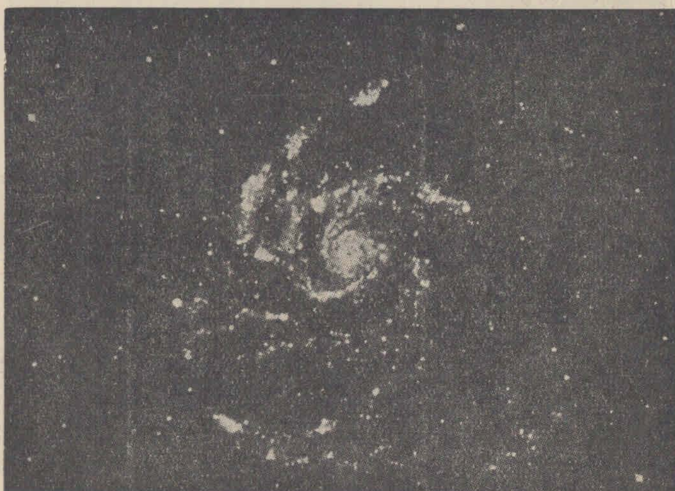
Trabajos más recientes han ampliado el Sistema Galáctico, haciendo depender de él todos los enjambres globulares de estrellas como ω Centauri, con lo cual el Sistema de Kapteyn pasa a ser un sistema local, como se ve en la figura.

El diámetro de la Galaxia tiene ahora 250.000 años-luz y el sistema local, del cual el Sol es una de tantas estrellas, está a 50.000 años-luz del centro de la misma.

El sistema galáctico tiene un movimiento de rotación alrededor de su centro, lo que explica que las estrellas del borde puedan escapar a la atracción de las estrellas centrales.

Dicho sistema no gira como un block, sino que las estrellas más cercanas a su centro giran más rápidamente que las más alejadas, en forma análoga a la que lo hacen los planetas alrededor del Sol.

162. **Las nebulosas espirales.** — Independiente del sistema de



Fotografía de la nebulosa nº 101 de la *Osa Mayor* tomada en el Obs. de Monte Wilson.

la Vía Láctea y separadas por distancias que alcanzan a millones y quizás billones de años luz, se han encontrado otros sistemas llamados *nebulosas espirales* o *universos islas*, que aunque no llegan a tener las proporciones de la Vía Láctea son sin duda sistemas análogos al que pertenecemos.

Se ha estimado en millones el número de nebulosas espirales, especialmente en las constelaciones de la Virgen y de la Cabellera de Berenise.

Fotografía de la gran nebulosa de Andrómeda tomada por el Obs. Jerkes.

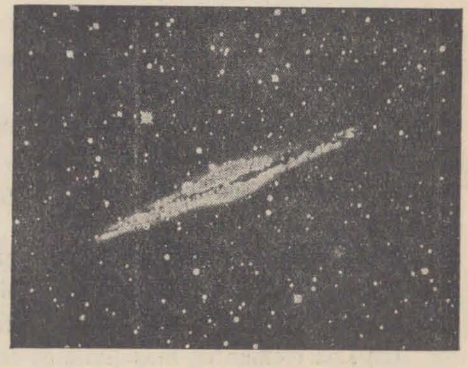
El espectroscopio revela en las nebulosas la existencia de los mismos elementos que en nuestro sistema· tales como hierro y calcio, teniendo el espectro de su luz cierto parecido con el de la del Sol.

Además el principio de Doppler muestra que las nebulosas se mueven hacia nosotros con velocidades de 300 a 1000 Km/seg.

La mayor nebulosa espiral conocida es la de *Andrómeda,* distando de nosotros más de 300000 años luz.

Se ha determinado aproximadamente la posición a otras muchas nebulosas alcanzando a distancias que llegan a 1 000 000 de años luz, empleando para todos los casos la relación del período de las estrellas variables del tipo *cefeidas* con sus brillos absolutos.

Según la teoría matemática del astrónomo inglés Jeans, en las diversas formas de las nebulosas puede seguirse las distintas etapas de su evolución. En el comienzo son como inmensas esferas de gas que después de trillones de años se aplastan y comienzan a condensarse, formándose brazos espirales que llegan a envolverlas. Después de otros trillones de años las nebulosas comienzan a desintegrarse para terminar en enjambres de estrellas como en las Nubes de Magallanes.



Fotografía de la nebulosa N. G. C. 811 en Andrómeda, tomada en el Obs. Monte Wilson

163. **Hipótesis de la nebulosa de Laplace.** — De todas las hipótesis sobre la formación del *sistema solar*, la de Laplace es, sin ninguna duda, la que mayor aceptación ha tenido para explicar racionalmente este grandioso fenómeno ocurrido hace millones de años. Esta hipótesis sostiene:

1º Toda la materia del sistema solar estuvo primitivamente al estado de gas a una elevadísima temperatura, formando lo que se llama una «nebulosa» animada de un movimiento de rotación.

2º La nebulosa tenía primitivamente la forma de un inmenso esferoide cuyo diámetro alcanzaba al planeta más alejado (Plutón descubierto en el año 1931).

3º La nebulosa tuvo un proceso de enfriamiento que produjo contracción y aumento de movimiento y como consecuencia un achatamiento ecuatorial.

4º La fuerza centrífuga producida por la rotación llegó a sobrepasar en el Ecuador a la gravitación, separándose un anillo semejante a los de Saturno.

5º Nuevas pérdidas de calor, seguidas de nuevos aumentos de rotación provocaron el nacimiento de nuevos anillos.

6º El núcleo de la nebulosa se convirtió en el Sol.

7º Por condensación de cada anillo se formaron los planetas, los que fueron en sus comienzos esferoides calientes y gaseosos animados de movimientos de rotación alrededor de sus respectivos ejes y de rotación alrededor del núcleo.

8º El enfriamiento de la masa gaseosa del planeta produjo, análogamente, el aumento de su rotación, que llegó en algunos de ellos a desprender anillos independientes, que dieron origen, luego, a los satélites de esos planetas.

9º Además la pérdida de calor produjo contracciones, formándose materias sólidas y líquidas. En el caso de la Tierra el volumen que llegaba hasta la Luna tomó el diámetro actual.

10º Los elementos más livianos formaron la atmósfera que fué sin duda más densa y profunda que ahora. Luego se condensó en la atmósfera el vapor de agua, se produjeron lluvias, formando los ríos y océanos.

Objeciones a la teoría. — La formación de los planetas habría sido producida de acuerdo con la teoría de Laplace por exceso de rotación, y el 95 % de este movimiento puede medirse actualmente en el movimiento de traslación del planeta Júpiter. Ahora bien *la nebulosa animada de un movimiento angular no ha podido producir los anillos.*

Es curioso de que siendo Laplace un gran matemático no haya tratado de confirmar por el cálculo lo que él imaginó. Recientemente se llevó a cabo esta investigación y la conclusión es la siguiente: *La teoría de Laplace explica perfectamente la transformación de una nebulosa en soles, pero reducida a una « escala pequeña » no puede explicar la formación de los planetas de un sol.*

CAPITULO XVI

TRIANGULO DE POSICION Y PROBLEMAS

PROGRAMA. — *Corrección de las observaciones. Refracción y aberración. Triángulo de posición. Conociendo la altura, el azimut de un astro y la latitud del lugar, hallar el ángulo horario y la declinación del astro. Idem, conociendo la declinación de un astro y su ángulo horario, hallar la altura y el azimut del astro. Hallar la época de la salida y de la puesta de un astro. Calcular la amplitud de un astro. Hallar la altura y el azimut de un astro cuando se encuentra en el círculo de las 6 horas. Hallar el ángulo horario, el azimut y la altura de un astro en el instante de su mayor elongación.*

164. **Corrección de las observaciones.** — Las coordenadas que se miden con el empleo de los instrumentos, teodolito, ecuatorial, etc., requieren ser corregidas antes de ser empleadas en los cálculos, de los errores instrumentales y, además, de otros independientes de ellos como son la *refracción* y la *aberración* de la luz.

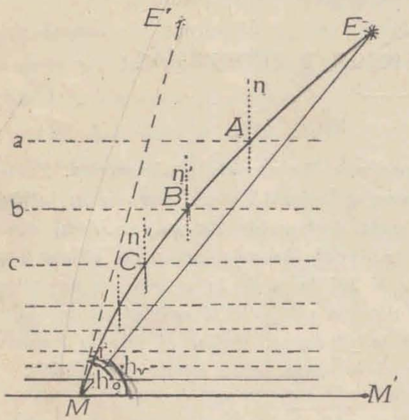
165. **Refracción.** — En Física se conoce con el nombre de *refracción de la luz* a la desviación que sufren los rayos luminosos cuando pasan de un medio a otro de distinta densidad.

Este fenómeno se produce con los rayos de luz provenientes de los astros al propagarse en la atmósfera, pues la densidad de ésta aumenta a medida que se aproxima a la superficie terrestre.

Con el objeto de dar una idea sencilla del fenómeno de la refracción, que es sumamente complejo, y calcular las correcciones que obliga a hacer en las observaciones, supondremos formada a la atmósfera por una serie de capas concéntricas y homogéneas.

En la figura se han representado algunas capas solamente, exagerando su espesor.

Consideremos un rayo EA de luz proveniente de una estrella E, el que al encontrar a la atmósfera en A se refracta acercándose a la normal n puesto que la capa ab es más densa que la inmediata superior. Este rayo refractado incide en B a la capa bc y al atravesarla se refracta acercándose a la normal n', puesto que dicha capa bc es más densa que la ab.



En esta forma continúa el rayo luminoso sufriendo sucesivas refracciones al atravesar las distintas capas y llegar al ojo del observador, que ve al astro en E′ en lugar de verlo en su verdadera posición E.

La figura formada por el rayo considerado y sus sucesivas refracciones, es una poligonal plana como lo enseña la Física. Si se duplica sucesivamente el número de capas de que se supone compuesta la atmósfera, con lo cual el espesor de las mismas disminuye, se obtienen poligonales tales como la ABC ... M, las cuales tienden a confundirse con una curva característica cuando dicho espesor tiende a cero. Dicha curva, que es el verdadero camino del rayo luminoso EA, se llama *curva de refracción* y como se estudia en Física depende de la temperatura, presión, altitud, estado higrométrico de la atmósfera, etc.

De acuerdo con lo visto resulta que en todas las observaciones astronómicas las alturas de los astros aparecen aumentadas de un cierto ángulo que se llama *refracción astronómica.*

En la figura la refracción astronómica sería en ángulo EME′ que está enormemente aumentado, puesto que la *refracción normal* (a 0° de temperatura, al nivel del mar, a los 45° de latitud, a 760 mm de altura barométrica) correspondiente a la altura aparente M′ME′ = 75° es de 16″.

Luego vemos que si E′MM′ $= h_o$ es la altura *observada* del astro E, E′ME $= r$ es la *refracción normal* y EMM′ $= h_v$ la altura *verdadera,* se tiene:

$$\widehat{EMM'} = \widehat{E'MM'} - \widehat{E'ME} \quad \text{o sea} \quad \boxed{h_v = h_o - r}$$

Los valores de la refracción han sido consignados en tablas, que dentro de la complejidad de los factores que influyen sobre la refracción, dan aproximaciones notables.

A continuación damos una tabla de refracciones normales, donde puede observarse que la refracción disminuye con la altura, siendo máxima en el horizonte y nula en el zenit.

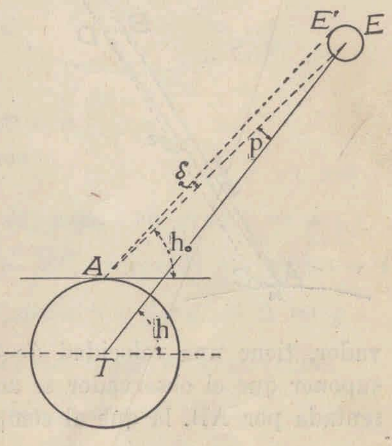
Altura	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
Refrac.	36'36"	25'37"	19'7"	14'59"	12'12"	10'13"	8'46"	7'39"	6'47"	6'4"	5'30"

Altura	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	25°	30°
Refrac.	5'1"	4'36"	4'15"	3'57"	3'41"	3'27"	3'14"	3'3"	2'53"	2'44"	2'8"	1'44"

Altura	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
Refrac.	1'26"	1'12"	1'0"	50"	42"	35"	28"	22"	16"	11"	5"	0"

Cuando las observaciones no son efectuadas en las condiciones que exige la refracción normal, hay que corregir a ésta de acuerdo con dichas condiciones para lo cual se utilizan también tablas. Ejemplo las de la « C. des T. ».

166. Corrección de las alturas de los astros del sistema solar. — Para medir la altura del Sol, de la Luna o de un planeta, se dirige la visual a uno de sus bordes y se le suma o resta el valor del semidiámetro (nº 70) según que dicho borde sea el inferior o el superior.



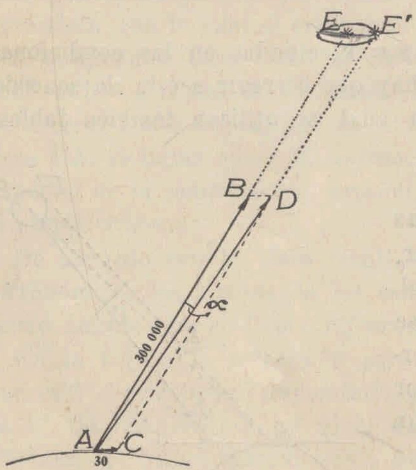
Como las observaciones se refieren siempre al centro de la Tierra, es necesario todavía agregar-le la paralaje. Así: llamando h_o a la altura observada, corregida de la refracción y demás errores, δ al semidiámetro del astro, p a la paralaje y h a la altura geocéntrica, tendríamos:

$$\boxed{h = h_o \pm \delta + p}$$

os que hayas nacido tú!

167 Aberración. — Las coordenadas de un astro, referidas a la eclíptica y al ecuador verdaderos se llaman *coordenadas verdaderas* del mismo.

Para obtener las *coordenadas aparentes* es necesario, todavía, corregirlas de la *aberración de la luz,* que es la desviación que sufre un rayo luminoso proveniente de un astro, al componerse la velocidad de su luz con la del observador, puesto que estando éste en la Tierra está animado de los movimientos de traslación alrededor del Sol, de rotación alrededor de su eje y de traslación del sistema solar.

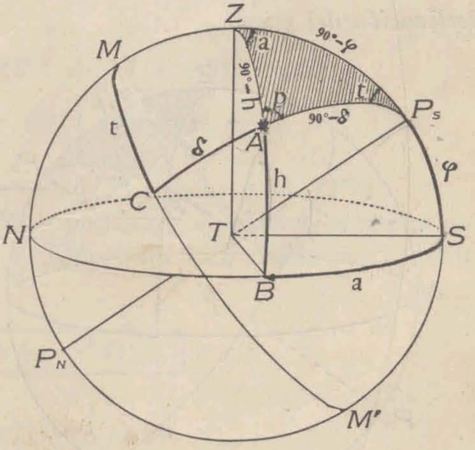


De estas tres velocidades de que está animado el observador, la que tiene mayor influencia es la de traslación alrededor del Sol (30 Km/seg aproximadamente) produciendo la *aberración anual* que tiene por efecto hacer describir a cada estrella una pequeña elipse cuyo semi-eje mayor es paralelo a la eclíptica e igual, para todas las estrellas, a 20″47 (*constante de aberración*). 20''5

Para comprender ésto, consideremos una estrella E. Si A es el lugar de observación, un rayo luminoso EA que parta de E y llegue al ojo del observador, tiene una velocidad de 300 000 Km/seg (lo que equivale a suponer que el observador se acerca a E con esa velocidad), representada por AB, la que al componerse con la velocidad AC del observador da por resultante la AD, por lo cual la estrella en lugar de verse en E se vería en E′.

Como al cabo de un año la velocidad de la Tierra supuesta constante, ha tomado todas las direcciones sobre la eclíptica, al efectuar para cada instante la composición de velocidades explicada, se obtendrán las sucesivas posiciones aparentes E′ que formarán una elipse de centro E que será descripta aparentemente por dicha estrella E. Esa elipse pertenece a un plano paralelo al de la eclíptica y al ser proyectada sobre la bóveda celeste nos da otra elipse.

168. **Triángulo de posición.** — Las coordenadas horizontales y las ecuatoriales horarias de un mismo astro A medidas desde un mismo lugar de observación y en el mismo instante, determinan sobre la esfera celeste un triángulo esférico que tiene por vértices al polo sur P_S, al cenit Z y al astro A, que puede ser una estrella o el centro de un astro cualquiera del sistema solar. Dicho triángulo esférico $P_S ZA$ se llama *triángulo de posición* correspondiente al astro A.



Los elementos de ese triángulo son:

$A\widehat{Z}P_S$ = *azimut de* A = $\widehat{SB}$ expresado en grados = *a*

$Z\widehat{P_S}A$ = *ángulo horario de* A = $\widehat{MC}$ expresado en grados = *t*

$P_S\widehat{A}Z$ = *ángulo de posición o paraláctico del astro* A = *p*

Lado $\widehat{ZP_S}$ = 90° — φ = *co-latitud del lugar de observación*

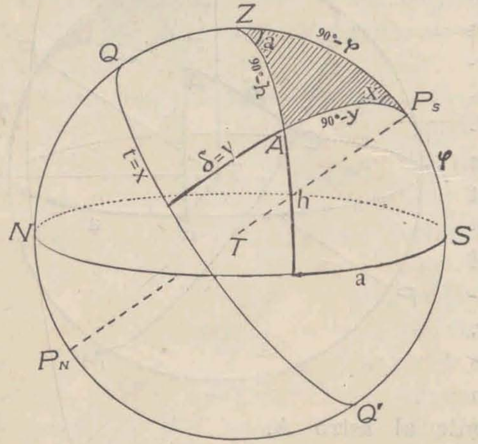
» $\widehat{AZ}$ = 90° — *h* = *z* = *distancia cenital de* A

» $\widehat{AP_S}$ = 90° — δ = *co-declinación del astro* A.

El estudio del triángulo de posición permite resolver importantes problemas de astronomía y navegación, como veremos más adelante, y dicho estudio puede hacerse mediante la aplicación de las fórmulas fundamentales de la trigonometría esférica.

Trabajaremos con los valores absolutos de los datos φ, δ, t ... etc., y obtendremos los valores absolutos de las incógnitas por la aplicación de las fórmulas trigonométricas convenientes, como se verá a continuación. Los signos de dichas incógnitas los determinaremos de acuerdo con las convenciones admitidas para los signos de las coordenadas. (Ver capítulo IV).

169. **Problema.**— *Conociendo la altura y el azimut de un astro y la latitud del lugar de observación hallar el ángulo horario y la declinación del mismo.*



DATOS

$\varphi = -35°$

$h = 41°$

$a = 75°$

INCÓGNITAS

$t = x$

$\delta = y$

SOLUCIÓN. — Como en el triángulo de posición ZAP_S conocemos

$$\widehat{ZA} = 90° - h \quad ; \quad \widehat{ZP_S} = 90° - \varphi \quad \text{y} \quad \widehat{AZP_S} = a,$$

o sea, dos lados y el ángulo comprendido, podemos encontrar el lado opuesto a dicho ángulo aplicando el *teorema del coseno* que dice: *El coseno de un lado es igual al producto de los cosenos de los otros dos, más el producto de los senos de estos mismos dos lados por el coseno del ángulo opuesto al primero* o sea

φ = latitud de un lugar.

$$\cos(90 - y) = \cos(90 - h)\cos(90 - \varphi) + \\ + \operatorname{sen}(90 - h)\operatorname{sen}(90 - \varphi)\cos a$$

Recordando que el seno y el coseno de un ángulo son respectivamente iguales al coseno y al seno de su complemento se tiene:

$$\operatorname{sen} y = \operatorname{sen} h \operatorname{sen} \varphi + \cos h \cos \varphi \cos a$$

Reemplazando los valores absolutos de los datos resulta:

$$\operatorname{sen} y = \operatorname{sen} 41° \operatorname{sen} 35° + \cos 41° \cos 35° \cos 75°$$

Trabajando con los valores naturales de las funciones trigonométricas resulta:

$$\operatorname{sen} y = 0{,}656 \,.\, 0{,}574 + 0{,}755 \,.\, 0{,}819 \,.\, 0{,}259$$

$$\operatorname{sen} y = 0{,}376 + 0{,}161 = 0{,}537$$

Para $\operatorname{sen} y = 0{,}537$ corresponde el ángulo $y = 32°28'$.

Como la altura h del astro es positiva y su azimut es menor que 90° debe el astro pertenecer al hemisferio Sud, siendo por lo tanto, negativa su declinación

luego $$\boxed{\delta = -\,32°28'}$$

Cálculo de t

Como el ángulo t es opuesto al lado conocido ZA y además sabemos el valor de otro lado ZP_S y el ángulo a comprendido entre esos dos lados, podemos calcular el ángulo t aplicando el teorema de la cotangente que dice: *La cotangente de un lado por el seno de otro es igual al coseno de éste por el coseno del ángulo comprendido, más el seno de este mismo ángulo por la cotangente del ángulo opuesto al primer lado.* Luego

$$\operatorname{cotg}(90° - h) \,.\, \operatorname{sen}(90° - \varphi) = \cos(90° - \varphi) \,.\, \cos a + \operatorname{sen} a \,.\, \operatorname{cotg} x$$

o sea $$\operatorname{tg} h \,.\, \cos\varphi = \operatorname{sen}\varphi \,.\, \cos a + \operatorname{sen} a \operatorname{cotg} x$$

Despejando cotg x resulta:

$$\text{cotg}\, x = \frac{\text{tg}\, h \cos \varphi - \text{sen}\, \varphi \cos a}{\text{sen}\, a}$$

o sea

$$\text{cotg}\, x = \frac{\text{tg}\, 41° \,.\, \cos 35° - \text{sen}\, 35° \,.\, \cos 75°}{\text{sen}\, 75°}$$

Trabajando con los valores naturales de las funciones trigonométricas, resulta:

$$\text{cotg}\, x = \frac{0{,}869 \,.\, 0{,}819 - 0{,}574 \,.\, 0{,}259}{0{,}966} \cong 0{,}583$$

Para cotg $x = 0{,}583$ corresponde el ángulo $x = 59°45'$.

Como el azimut del astro es menor que 180° resulta que se encuentra al Oeste del meridiano del lugar siendo, por lo tanto, el ángulo horario obtenido el buscado

luego $\boxed{t = 59°45' = 3\,\text{h}\ 59\,\text{min}}$

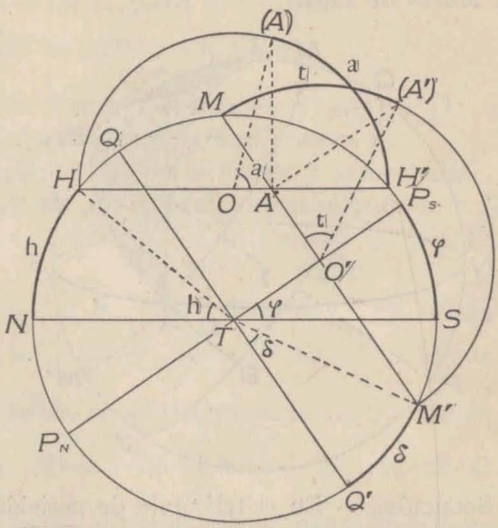
MÉTODO GRÁFICO (*). — Este problema puede resolverse aproximadamente, con el empleo de la regla, el compás y el transportador, utilizando las proyecciones ortográficas sobre el meridiano del lugar y rebatimientos apropiados sobre el mismo plano.

Trazamos la circunferencia NMS que representa al meridiano del lugar, al diámetro NS que es la proyección ortográfica del horizonte sobre el plano del meridiano. Como conocemos $\varphi = -35°$ trazamos $P_S P_N$ y la proyección QQ′ del ecuador. Llevando a partir de N el arco NH $= h = 41°$ y trazando lal cuerda HH′ || NS obtenemos la proyección ortográfica HH′ del almicantarat (*).

(*) Una solución gráfica más detallada del triángulo de posición, puede encontrarse en la «R. C. E. I.» en el nº 205 de Julio 1919, en un artículo de los Prof. Ings. L. M. PIEDRA y J. BABINI.

(**) Se llama *almicantarat* de un astro al plano paralelo al horizonte del lugar que pasa por el astro.

Como el azimut de un astro se puede medir sobre su almicantarat, haciendo girar este último alrededor de su proyección HH' hasta que su plano coincida con el del meridiano, se tiene la circunferencia de diámetro HH' que es el rebatimiento del almicantarat.



Llevando

$$H'(A) = a = 75°$$

se obtiene el rebatimiento (A) del astro A, y trazando por (A), (A)A ⊥ HH' resulta que (A) es la proyección del astro A sobre el meridiano.

Trazando por A, MM' ‖ QQ' se tiene la proyección MM' del paralelo del astro. El arco M'Q' nos da la declinación buscada que resulta ser $\delta \cong -32°30'$.

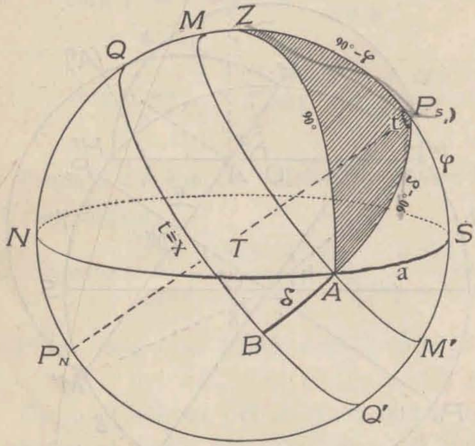
Para hallar el ángulo horario t rebatimos el paralelo del astro sobre el plano del meridiano. Trazamos A(A') ⊥ MM' hasta cortar a la circunferencia de diámetro MM' en el punto (A') que es el rebatimiento del astro.

El arco M(A') nos da el valor del ángulo horario buscado que resulta ser $t \cong 60° = 4$ h.

Obsérvese que con este problema se ha resuelto el pasaje de las coordenadas horizontales de un astro a las ecuatoriales horarias del mismo. De idéntica manera podría resolverse el problema recíproco que se enunciaría así:

En un lugar de latitud φ, conociendo la declinación y el ángulo horario de un astro hallar la altura y el azimut del mismo.

170. **Problema.**— *Hallar la época de la salida o puesta de un astro (γ del Escorpión) en un lugar de latitud conocida, el día 9 de Marzo de 1931.*



DATOS

$\varphi = -35°$

$\delta \cong -25°$

$\alpha = 15$ h 02 seg

INCÓGNITAS

$t = x$

SOLUCIÓN. — En el triángulo de posición ZP_SA conocemos el lado $ZA = 90°$ puesto que en la salida o puesta el astro está en el horizonte, siendo por lo tanto

$$h = 0; \text{ y además } \widehat{ZP_S} = 90° - \varphi \text{ y } \widehat{P_SA} = 90° - \delta$$

Para calcular el ángulo $t = x$ comprendido entre dos de esos lados podemos aplicar el teorema del coseno (enunciado en el problema anterior), que nos da:

$$\cos 90° = \cos(90° - \varphi)\cos(90° - \delta) + \\ + \operatorname{sen}(90° - \varphi)\operatorname{sen}(90° - \delta)\cos x$$

o sea $\quad 0 = \operatorname{sen}\varphi \operatorname{sen}\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos x$

de donde $\quad \cos x = -\dfrac{\operatorname{sen}\varphi \operatorname{sen}\delta}{\cos\varphi\cos\delta} = -\operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta$

Reemplazando los valores absolutos resulta:

$$\cos x = -\operatorname{tg} 35° \,.\, \operatorname{tg} 25°$$

Trabajando con los valores naturales de las funciones trigonométricas resulta:

$$\cos x = -0{,}700 \,.\, 0{,}466 \cong -0{,}326 \qquad [1]$$

luego $\quad x = t = 109° \cong 7\text{ h } 16\text{ min}$

Como $\cos x$ es negativo existen dos soluciones para la [1], una perteneciente al segundo cuadrante y otra al tercero.

La primera es el ángulo horario de la puesta y la segunda el de la salida. Si convenimos en contar los ángulos horarios de 0° a ± 180° o de 0 h a ± 12 h, según que el astro esté al O o al E del meridiano, se tiene:

Horario de la puesta $= x = t = 109° = 7\text{ h } 16\text{ min}$

Horario de la salida $= x' = t' = -109° = -7\text{ h } 16\text{ min}$

La hora siderea de la salida la obtenemos mediante la relación

$$\vartheta = \alpha + t = 15\text{ h } 0\text{ min } 02\text{ seg} + 7\text{ h } 16\text{ min} = 22\text{ h } 16\text{ min } 02\text{ seg}$$

Vamos a hallar la hora civil correspondiente procediendo como lo indicamos en el (nº 63).

Fecha 9/3/931	*Hora siderea de la puesta*	= 22 h 16 min 02 seg
	(*) *Hora sideral de Bs. As. a* 0 h_c	= 11 h 03 min 32 seg
	Intervalo sidereo I_s	= 11 h 12 min 30 seg
	Corrección = 9,829 seg I_s	= 1 min 50 seg
	Hora legal de la puesta en Bs. As.	= 11 h 10 min 40 seg

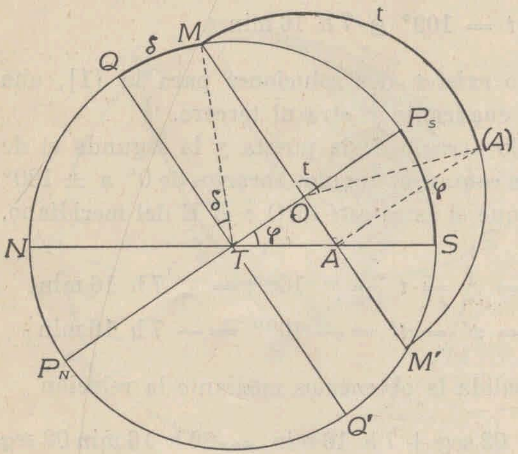
Análogamente se calcula que la hora legal de la salida son las 20 h 37 min 07 seg del día 8 de Marzo.

Método gráfico. — Trazamos la circunferencia NMS que representa al meridiano del lugar y al diámetro NS que es la proyección ortográfica del horizonte sobre el plano del meridiano.

Como conocemos $\varphi = -35°$ trazamos $P_S P_N$, y la proyección QQ' del Ecuador.

(*) La hora sideral de Bs. As. es igual a la hora sideral de Greenwich a 0 h, más 9,856 seg × 4.

Llevando a partir de Q el arco QM $= \delta = -25°$ y trazando la cuerda MM′ $\parallel$ QQ′ obtenemos la proyección ortográfica del paralelo del astro.



La intersección A de las proyecciones del paralelo del astro y del horizonte es la proyección del astro sobre el meridiano en el instante de su salida o de su puesta.

Rebatiendo el plano del paralelo sobre el del meridiano, alrededor de su proyección MM′, se obtiene la circunferencia de diámetro MM′. El punto (A) de la misma representa el rebatimiento del astro A en el instante de su puesta.

El arco M(A) $= 109° = 7$ h 16 min es el ángulo horario del astro en el instante de su puesta. Con ese valor se puede calcular la hora siderea de esa salida y luego la civil correspondiente en la forma que indicamos al resolver el problema analíticamente.

171. **Problema.**— *Calcular la amplitud de un astro en un lugar de latitud conocida* φ.

Se entiende por *amplitud* de un astro en el instante de su salida o puesta, a su azimut, contado a partir del punto cardinal O o E.

Tomando los datos del problema anterior podemos calcular el azimut del astro mediante el teorema del coseno y luego su amplitud:

$$\cos(90° - \delta) = \cos(90° - \varphi)\cos 90° + \operatorname{sen}(90° - \varphi)\operatorname{sen} 90° \cos a$$

o sea $\quad \operatorname{sen}\delta = \cos\varphi\cos a \quad$ pues $\quad \cos 90° = 0 \quad$ y $\quad \operatorname{sen} 90° = 1$

luego $\quad \cos a = \operatorname{sen}\delta \sec\varphi$

Reemplazando los valores absolutos de los datos se tiene

$$\cos a = \operatorname{sen} 25° . \sec 35°$$

$$\cos a \cong 0{,}423 . 1{,}221 \cong 0{,}516 \quad \text{luego} \quad a = \pm 58°56'$$

de acuerdo con la convención hecha para los azimutes.

Como el valor absoluto del azimut es menor que 90° el astro sale entre el E y el S y se pone entre el O y el S. Luego los valores de amplitud serán:

Amplitud de la salida $= -(58°56' - 90°) = + 21°4'$

Amplitud de la puesta $= 58°56' - 90° = - 21°4'$

172. **Problema.** — *Hallar la altura y el azimut de un astro de declinación conocida cuando se encuentra en el círculo de las 6 h conociendo la declinación del mismo y la latitud del lugar de observación* (*).

DATOS

$\varphi = - 35°$

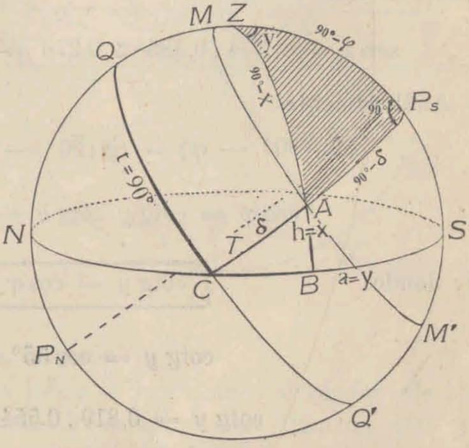
$\delta = - 29°$

$t = 6\,\text{h} = 90°$

INCÓGNITAS

$h = x$

$a = y$

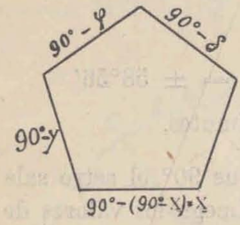


SOLUCIÓN. — El triángulo de posición ZP_SA es rectángulo puesto que el ángulo $ZP_SA = t = 6\,\text{h} = 6 \times 15° = 90°$ y conocemos sus catetos $ZP_S = 90° - \varphi$ y $P_SA = 90° - \delta$.

Para resolverlo aplicamos la regla del *Pentágono de Neper.*

(*) Se llama *círculo de las 6 h* al meridiano que forma con el del lugar un ángulo $t = 90° = 6\,\text{h}$.

Recordando que: *el seno del argumento de un lado es igual al producto de los cosenos de los argumentos de los lados no adyacentes* o *al producto de las tangentes de los argumentos de los lados adyacentes,* se tiene:



$$\operatorname{sen} x = \cos(90° - \varphi)\cos(90° - \delta) \qquad [1]$$

o sea

$$\boxed{\operatorname{sen} x = \operatorname{sen}\varphi \operatorname{sen}\delta} \qquad [1']$$

Reemplazando los valores absolutos de los datos resulta:

$$\operatorname{sen} x = \operatorname{sen} 35° \,.\, \operatorname{sen} 29°$$

Trabajando con los valores naturales de las funciones trigonométricas se tiene:

$$\operatorname{sen} x = 0{,}574 \,.\, 0{,}485 \cong 0{,}278 \quad \therefore \quad x = \boxed{h = 16°8'}$$

Análogamente

$$\operatorname{sen}(90° - \varphi) = \operatorname{tg}(90° - y) \,.\, \operatorname{tg}(90° - \delta) \qquad [2]$$

$$\cos\varphi = \operatorname{cotg} y \operatorname{cotg}\delta = \operatorname{cotg} y \frac{1}{\operatorname{tg}\delta}$$

de donde

$$\boxed{\operatorname{cotg} y = \cos\varphi \operatorname{tg}\delta} \qquad [2']$$

$$\operatorname{cotg} y = \cos 35° \operatorname{tg} 29°$$

$$\operatorname{cotg} y = 0{,}819 \,.\, 0{,}554 = 0{,}454.$$

Para $\operatorname{cotg} y = 0{,}454$ corresponde el ángulo $y = 65°35'$.

Como el astro está en el hemisferio Sud, pues δ es negativa y al Oeste del meridiano por cortar al círculo de las 6 horas, su azimut debe ser menor que 90°

luego

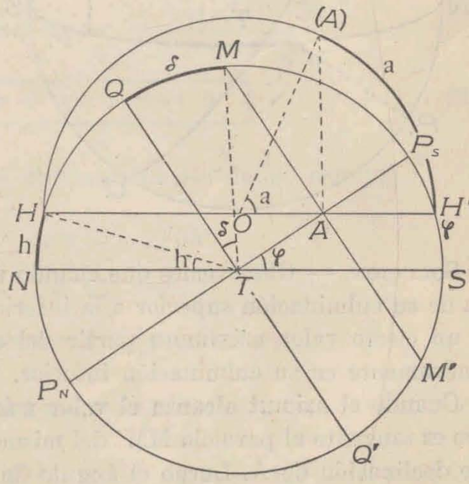
$$\boxed{a = 65°35'}$$

MÉTODO GRÁFICO. — Trazamos la circunferencia NMS que representa al meridiano del lugar y al diámetro NS que es la proyección ortográfica del horizonte sobre el plano del meridiano.

Como conocemos $\varphi = -35°$ trazamos $P_S P_N$ y la proyección QQ′ del Ecuador.

Llevando a partir de Q, el arco $QM = \delta = -29°$ y trazando la cuerda MM′ || QQ′ obtenemos la proyección ortográfica del paralelo del astro.

Por otra parte como la recta $P_S P_N$ es la proyección ortográfica del círculo de las 6 h, la intersección A de $P_S P_N$ con MM′, es la proyección ortográfica del astro A sobre el meridiano en el instante en que se encuentra en el círculo de las 6 h.

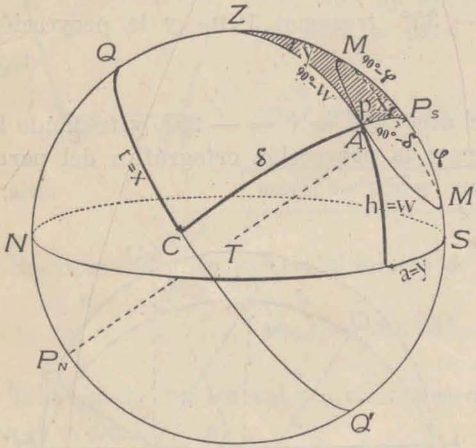


Trazando por A la cuerda HH′ || NS se obtiene la proyección ortográfica del almicantarat del astro en el instante considerado, luego el arco NH ≅ 16° es la altura buscada.

Rebatiendo el almicantarat sobre el meridiano, alrededor de su proyección HH′ se tiene la semicircunferencia de diámetro HH′ y el punto (A) representa el rebatimiento del astro en el instante de su paso por el círculo de las 6 h.

El arco H′(A) ≅ 66° es el azimut buscado.

173. **Problema.**— *Hallar el ángulo horario, el azimut y la altura de un astro en el instante de su mayor elongación en un lugar de latitud conocida* φ.



DATOS

$\varphi = -35°$

$\delta = -65°$

$p = 90°$

INCÓGNITA

$t = x$

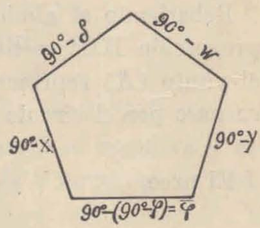
$a = y$

$h = w$

SOLUCION. — Observemos que cuando una estrella circumpolar pasa de su culminación superior a la inferior su azimut aumenta de 0° a un cierto valor máximo a partir del cual decrece hasta anularse nuevamente en su culminación inferior.

Cuando el azimut alcanza el valor máximo el vertical ZA del astro es tangente al paralelo MM′ del mismo y perpendicular al círculo de declinación de A. Luego el ángulo de posición o paraláctico p es recto y se dice que la estrella está en su *mayor elongación.*

Igualmente se observa al pasar de su culminación inferior a la superior y contando los azimutes de 0° a —180° en sentido retrógrado.



El triángulo de posición ZP_SA es rectángulo en A, y como conocemos su hipotenusa $ZP_S = 90° - \varphi$ y el cateto $P_SA = 90° - \delta$ podemos resolverlo aplicando la regla de Neper.

$$\text{sen}\,(90° - x) = \text{tg}\,(90° - \delta)\ \text{tg}\,\varphi \qquad [1]$$

$$\text{sen}\,(90° - \delta) = \cos\,(90° - y)\cos\varphi \qquad [2]$$

$$\text{sen}\,\varphi = \cos\,(90° - \delta)\cos\,(90° - w) \qquad [3]$$

de [1] $$\boxed{\cos x = \text{cotg}\,\delta\ \text{tg}\,\varphi} \qquad [1']$$

de [2] $$\cos\delta = \text{sen}\,y\cos\varphi = \text{sen}\,y\,\frac{1}{\sec\varphi}$$

luego $$\boxed{\text{sen}\,y = \cos\delta\,\sec\varphi} \qquad [2']$$

de [3] $$\text{sen}\,\varphi = \text{sen}\,\delta\ \text{sen}\,w = \frac{1}{\text{cosec}\,\delta}\,\text{sen}\,w$$

luego $$\boxed{\text{sen}\,w = \text{sen}\,\varphi\ \text{cosec}\,\delta} \qquad [3']$$

Reemplazando los valores absolutos de los datos, resulta:

$$\cos x = \text{cotg}\,65° \,.\, \text{tg}\,35°$$

$$\text{sen}\,y = \cos\,65° \,.\, \sec 35°$$

$$\text{sen}\,w = \text{sen}\,35° \,.\, \text{cosec}\,65°$$

Trabajando con valores naturales, se tiene:

$$\cos x = 0{,}466 \,.\, 0{,}700 \cong 0{,}326 \quad \therefore \quad x = t \cong 71° = 4\,\text{h}\ 44\,\text{min}$$

$$\text{sen}\,y = 0{,}423 \,.\, 1{,}221 \cong 0{,}516 \quad \therefore \quad y = a \cong 31°4'$$

$$\text{sen}\,w = 0{,}574 \,.\, 1{,}103 \cong 0{,}633 \quad \therefore \quad w = h \cong 39°17'$$

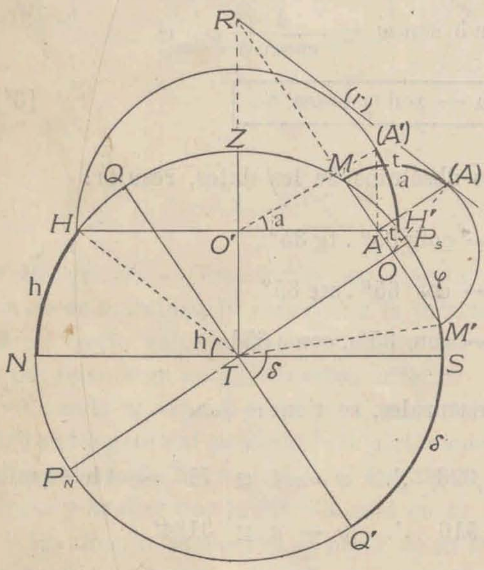
Como $\delta = -65°$ el astro es una estrella circumpolar para nosotros, su ángulo horario t, su azimut y su altura no pueden alcanzar a $90°$, luego los valores de x, y y w son las soluciones del problema.

Método gráfico. — Trazamos la circunferencia NZS que representa al meridiano del lugar, y al diámetro NS que es la proyección ortográfica del horizonte sobre el meridiano. Trazando $P_S P_N$ tal que $P_S TS = \varphi = -35°$ y $QQ' \perp P_S P_N$ obtenemos la proyección QQ' del Ecuador.

Llevando a partir de Q' el arco $Q'M' = \delta = -65°$ y trazando la cuerda $MM' \parallel QQ'$ se tiene la proyección del paralelo del astro.

Por otra parte como el vertical del astro y su paralelo son tangentes en el punto A, tienen común la recta tangente r en ese punto y ella corta a la vertical TZ del lugar en un punto R. Como la recta pertenece al paralelo cuya proyección es MM' y ésta corta a la vertical en R dicho punto es el de intersección citado.

Rebatiendo el paralelo sobre el meridiano alrededor de su proyección MM' se tiene la circunferencia de diámetro MM'. Trazando por R, que permanece inmóvil en el rebatimiento, la tangente R(A) obtenemos en (A) el rebatimiento del astro. Luego si trazamos $(A)A \perp MM'$ resulta que A es la proyección ortográfica del astro sobre el meridiano, y el arco M(A) es el ángulo horario $t = x = 71° = 4$ h 44 min buscado.



Trazando por A la cuerda $HH' \parallel NS$ obtenemos la proyección del almicantarat del astro, luego el arco $NH = h = y \cong 39°17'$ es la altura buscada.

Rebatiendo el almicantarat sobre el plano meridiano alrededor de su proyección HH' se obtiene el arco $H'(A') = a = y \cong 31°4'$

Se llama precesión de los equinoccios al movimiento que el polo de la tierra efectúa alrededor del polo de la eclíptica describiendo una vuelta entera en el tiempo de 26000 (25700)

INDICE-PROGRAMA DE COSMOGRAFIA