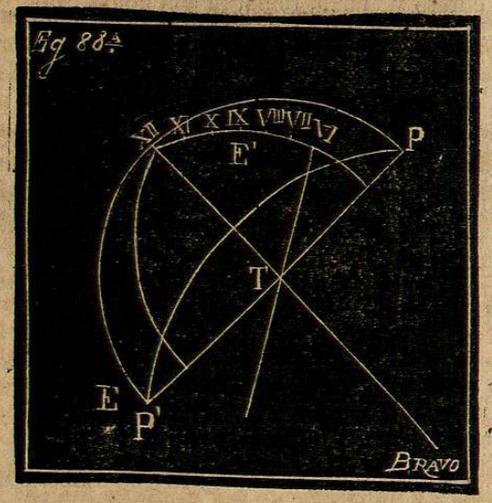
CAPITULO II.

§ 1.

De la medida del tiempo.

147. La exacta medida del tiempo es el fundamento de toda la Astronomía, pues se deduce de la rotacion de la esfera celeste que es uniforme. Sea PP′ (fig. 88) el eje del mundo, EE′ el ecuador, que podemos dividir en 24 partes iguales, correspondientes á las 24 horas en que está dividido el dia. El movimiento diurno de rotacion podrá facilmente medirse por el movimiento uniforme de un punto cualquiera, tomado sobre el ecuador, siendo ángulo horario el formado por el plano meridiano con el plano del círculo de declinacion que pasa por dicho punto. Es claro que este ángulo es medido por el arco del ecuador interceptado por los dos círculos máximos. Este punto recorrerá los 360° en las 24 horas, y por consiguiente 15° por hora. Por lo tanto, el tiempo podrá expresarse en arcos, y los arcos en tiempos, por ser proporcionales. Los astrónomos toman por principio del dia que se llama *sideral* aquel instante en que el punto de interseccion de la eclíptica con el ecuador en el equinoccio de Aries pasa por el meridiano. Pero como este punto es invisible, toman el paso de una estrella fija por el meridiano, cuya ascension recta está ya determinada. Un reloj que marque 24 horas en el tiempo que una misma estrella fija emplea para salir del meridiano y volver al mismo, se dice que anda con el tiempo sideral. Este reloj en los usos de la vida civil no serviria, pues para medir el tiempo civil se hace uso del sol, y como éste, además del movimiento que es comun á las estrellas, tiene un movimiento propio que tampoco es uniforme, segun hemos dicho [cap. I § 3 del sol], se sigue que un reloj que marcara el tiempo sideral no podria marchar con el sol. Para que un reloj pueda marcar el tiempo civil, pues es necesario que tenga por base el movimiento diurno del sol, porque habiendo determinado los astrónomos las irregularidades del movimiento propio del sol, por medio de algunas correcciones, han supuesto un tiempo solar uniforme, al que han dado el nombre de *tiempo medio*, del cual vamos á dar una idea en el siguiente párrafo.



§ 2.

Tiempo medio.

148. Hablando de la desigualdad de los dias solares, hemos indicado que no siendo uniforme el movimiento del sol en longitud, y no correspondiendo á cada grado de longitud un arco igual en el ecuador, para tener una longitud media, era necesario suponer un sol imaginario ó ficticio, el cual se moviera uniformemente sobre la eclíptica, y la diferencia entre la longitud verdadera y la longitud media nos daba la ecuacion del centro. Así mismo; como el movimiento del sol verdadero con relacion al ecuador no es uniforme, podemos suponer otro sol tambien ficticio, el cual recorra en 24 horas el círculo ecuatorial con movimiento uniforme. Este tercer sol que lleva el nombre de *sol medio*, no estando sujeto á ninguna causa de desigualdad, sirve para determinar el tiempo medio. El momento del pasaje de este sol medio por el meridiano se llama *mediodia medio* y *dia medio* el tiempo trascurrido entre dos pasos seguidos del sol medio por el meridiano. Más como este sol medio no es real, y por lo tanto no puede verse, los astrónomos suplen á ello, calculando la cantidad en que se adelanta ó se atrasa cada dia el sol verdadero al sol medio. Observando la posicion verdadera del primero, y deduciendo la diferencia, se obtiene el paso del sol medio por el meridiano. La cantidad calculada para traducir al tiempo medio el tiempo verdadero se llama *ecuacion del tiempo*. Resulta de este artificio: 1º que la ascencion recta del sol medio, es siempre igual á la longitud media del sol ficticio que recorre uniformemente la eclíptica [bien entendido que es necesario suponer que los dos soles imaginarios pasen simultáneamente por el punto fijo en Aries, orígen del cómputo], pero es necesariamente diferente de la ascencion recta verdadera y de la longitud verdadera: 2º que la ascencion recta verdadera del sol, es la medida del tiempo medio. Como el sol medio ya precede, ya sigue al sol verdadero, la ecuacion del tiempo, ó sea, la di-

ferencia entre el tiempo verdadero y el tiempo medio ya será positiva, ya negativa. La tabla siguiente dá la ecuacion del tiempo.

	Dia					Dia.				
149. Enero.		1	0^h.	3^m.	58^s.	Julio.	1	0^h.	3^m.	27^s.
		11	0.	8.	21.		11	0.	5.	8.
		21	0.	11.	43.		21	0.	6.	3.
Febrero.		XI	0.	13.	57.	Agosto.	1	0.	6.	0.
		11	0.	14.	34.		11	0.	4.	56.
		21	0.	13.	54.		21	0.	2.	54.
Marzo.		1	0.	12.	34.	Setbre.	1	11.	59.	59.
		11	0.	10.	12.		11	11.	56.	30.
		21	0.	7.	19.		21	11.	52.	59.
Abril.		1	0.	3.	55.	Octbre.	1	11.	49.	37.
		11	0.	1.	2.		11	11.	46.	45.
		21	11.	58.	38.		21	11.	44.	41.
Mayo.		1	11.	56.	56.	Novbre.	1	11.	43.	42.
		11	11.	56.	09.		11	11.	44.	12.
		21	11.	56.	18.		21	11.	46.	5.
Junio.		1	11.	57.	19.	Dicbre.	1	11.	49.	18.
		11	11.	59.	16.		11	11.	53.	34.
		21	0.	1.	23.		21	11.	58.	25.

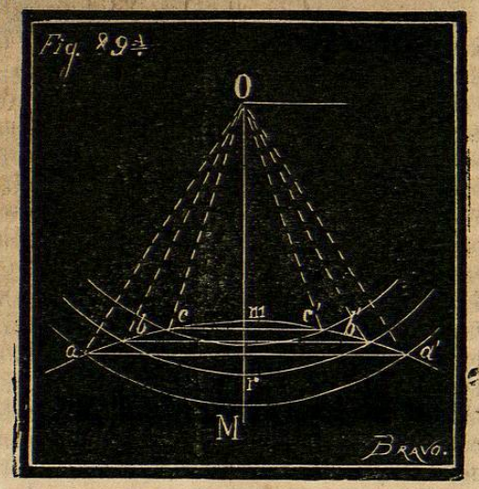
Esta tabla indica la hora que debe marcar un reloj arreglado segun el tiempo medio, cuando el sol verdadero pasa por el meridiano. Así, por ejemplo, observando por medio de la sombra, el paso del sol por el meridiano el 11 de Noviembre, en ese instante el reloj debe señalar las $11^h,44^m$ lo que quiere decir que, para que el sol medio pase por el meridiano, faltan todavía 17 minutos, ó sea que faltan 17 minutos para las 12 horas del reloj, ó sea el medio dia. Si se tratara de algun dia que no se halle en la tabla, una simple operacion aritmética haria encontrar el número exacto. Sea verbigracia, el 25 de Marzo, hallándose éste entre los límites $0,^h7,^m19^s$ y $0^h,3^m,55$, cuya diferencia es $3^m,24^s = 204^s$, estos, divididos por los 11 dias, dan por término medio $18^s,6$ para cada dia. Por lo tanto, multiplicando $18^s,5$ por 4 [$=72^s,20$], y restándolo de $0^h,7^m,19^s$, resulta $0^h,6^m,6^s$ para la ecuacion del tiempo en 25 de Marzo. De la misma tabla resulta que esta ecuacion es positiva desde el 1º de Setiembre hasta el 24 de Diciembre y desde el 15 de Abril al 15 de Junio; y negativa desde el 15 de Junio al 1º de Setiembre y del 24 de Diciembre al 15 de Abril: es nula cuatro veces al año, á saber, el 15 de Abril,

15 de Junio, 1º de Setiembre y 24 de Diciembre. La mayor diferencia entre el tiempo medio y el verdadero, para el primer periodo, tiene lugar el 2 de Noviembre, y llega á $+16^m,18^s$; en el segundo periodo es de $+3^m,44^s$ correspondiente al 14 de Mayo: en el tercer periodo llega á $-6^m,10^s$ el 28 de Julio, y finalmente en el cuarto periodo correspondiente á 11 de Febrero llega á $-14^m,34^s$.

§ 3.

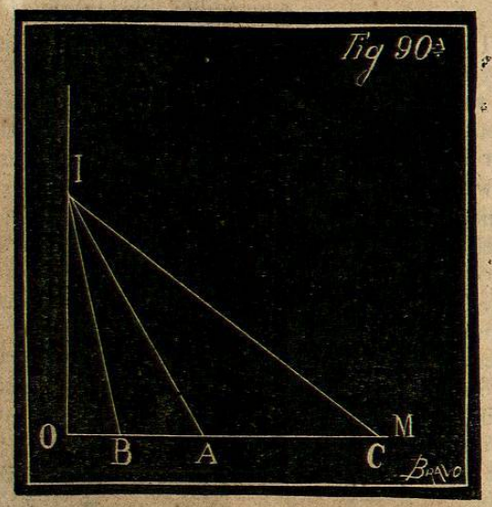
Línea meridiana.

150. Los cuerpos alumbrados por el sol, proyectan una sombra cuya longitud depende de la altura del sol sobre el horizonte, y está en razon inversa de dicha altura. Los antigüos que no tenian instrumentos tan perfectos como los modernos, estudiaban la marcha del sol por medio de un estilo vertical, que llamaron *gnómon* del griego (*γνωμι conocer*), el cual estando fijo sobre un plano horizontal, dá á conocer la hora del paso del sol por el meridiano. La sombra que proyecta el gnómon á la salida del sol es infinita, disminuye hasta el medio dia y aumenta en seguida para ser de nuevo infinita á la puesta del sol. De aquí nace un método fácil, para conocer por medio de la sombra el instante del paso del sol verdadero por el meridiano, trazando una línea meridiana sobre un plano horizontal. Esta línea por lo dicho representará la interseccion del plano meridiano con el plano horizontal. Al rededor del pié del gnómon [fig. 89], cualquiera que sea su altura, ó sea del punto O como centro, y al lado opuesto al sol, describamos sobre el plano horizontal tres ó mas semicírculos concéntricos *cmc'*, *bnb'*, *apa'*, y marquemos los puntos *abc* en donde la extremidad de la sombra cae sobre las curvas descritas, antes del medio dia y los puntos *c'b'a'*, despues del medio dia. Teniendo el sol sensiblemente la misma altura cuando está á igual distancia por una y otra parte del plano meridiano, se obtendrá la línea meridiana, trazando la bisectriz comun OM

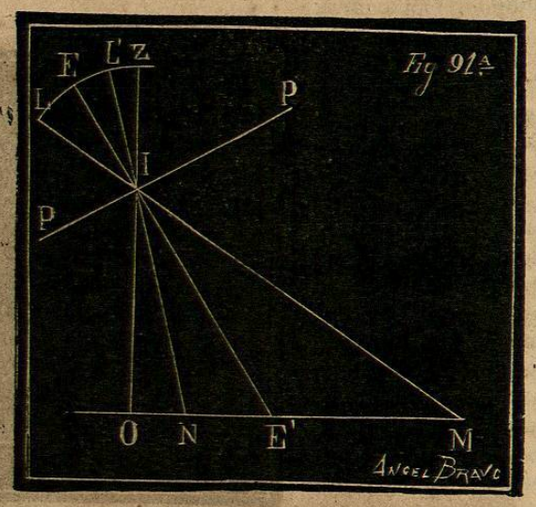


de los ángulos aOa', bOb', cOc'. Al dia siguiente, en el momento en que la sombra del gnómon cae sobre la línea meridiana, se verifica el paso del sol verdadero por el meridiano: añadiendo la correccion de la ecuacion del tiempo se tendrá la hora del tiempo medio.

Si se observa la longitud de la sombra al medio dia verdadero en los diferentes dias del año, podrá determinarse la sombra máxima y mínima de los solsticios y de los equinoccios. Sea OI [fig. 90] el gnómon, OM la línea meridiana; el solsticio de verano tendrá lugar cuando la sombra OB es mínima, y el solsticio de invierno cuando es máxima la longitud de la sombra OC. Si se traza una bisectriz del ángulo BIC, se tendrá OA que representa la longitud de la sombra en los equinoccios. La determinacion de dicha longitud en los equinoccios es bastante exacta, porque cerca de esa época dicha longitud varía rápidamente de un dia á otro, y en el dia mismo de los equinoccios la extremidad de la sombra, describe una línea recta perpendicular á la línea meridiana, pero la determinacion del dia de los solsticios deja incertidumbre, porque la variacion de la sombra en esa época es casi insensible. El plano trazado por IA normalmente al plano meridiano, coincide con el plano del ecuador, el ángulo IAO indica la inclinacion del ecuador sobre el horizonte. El ángulo complementario OIA es la altura del polo ó la latitud del lugar; finalmente el ángulo BIA dá la oblicuidad de la eclíptica. Una pequeña demostracion aclarará todo lo dicho. Sea OI [fig 91] el gnómon, sea ZL'L un arco de meridiano que abraze el zénit Z y el trópico LL' límites de las posiciones del sol en el curso de un año. Como los puntos L y L' representan la declinacion máxima del sol, sea positiva sea negativa, se sigue que el sol en sus pasos por el meridiano, recorrerá solamente el arco LEL', cuyos límites L y L' no puede pasar: el punto E representa el equinoccio y los puntos L,L' los solsticios. Esto supuesto, coloquemos al sol en L [solsticio



de invierno], la direccion de los rayos luminosos LI por el vértice I del gnómon, producirán sobre el plano horizontal la sombra máxima OM [es máxima por no poder el sol pasar mas allá del punto L]; si suponemos al sol en L' (solsticio de verano) la direccion de los rayos luminosos L'I por el vértice I del gnómon producirá sobre el mismo plano horizontal la sombra mínima ON. Entre estos extremos si el sol se halla en el punto central E, es decir, en el Ecuador, la direccion de los rayos luminosos EI determinarán en E' la longitud de la sombra en los equinoccios. Ahora, como todos los ángulos formados por las diferentes sombras en el vértice del gnómon son opuestos á los formados por la direccion de los rayos luminosos del sol, se sigue que son respectivamente iguales; por tanto, los ángulos NIE',E'IM representarán la oblicuidad de la eclíptica = 23°,28': el ángulo OIE'=ZIE [distancia zenital del ecuador] representará la latitud del lugar, ó la altura del polo sobre el horizonte, y la recta IE' determinará la inclinacion del plano ecuatorial. Si por el vértice I se traza una perpendicular PP' á dicha recta, tendremos representada la direccion del eje del mundo, y por lo tanto la posicion de los polos.



151. No será fuera de lugar resolver aquí algunos problemas que dependen de la longitud de la sombra del gnómon.

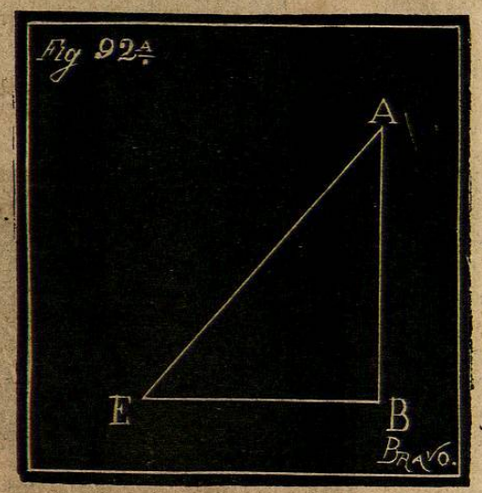
Problema 1º *Dada la altura del gnómon* = $0^m,042$, *y la longitud de la sombra proyectada* = $0^m,034$, *hallar la altura del sol sobre el horizonte al medio dia.*

Para resolver este problema, bastará hallar el valor del ángulo AEB (fig. 92) que siendo complemento del ángulo EAB distancia zenital del sol, será la altura del sol sobre el horizonte. Para esto siendo AB = $0^m,042$, y EB = $0^m,034$, será: tg. AEB $= \frac{AB}{EB} = \frac{0^m,042}{0^m,034}$:

tomando los logaritmos resulta: log. tg. AEB=log. AB—log. EB, ó sea log. tg. AEB=log. $0^m,042$—log. $0^m,034$: ejecutando las operaciones resulta:

$$\begin{aligned} \log.\ 0^m,042 &= 8.623249 \\ -\log.\ 0^m,034 &= 8.531478 \\ \log.\ \text{tg. AEB} &= 0.091771 \end{aligned}$$

luego AEB=51°,00′,32″,8. Esta será la altura del sol sobre el horizonte.



Problema 2º *Hallar la latitud del lugar por medio de la máxima y mínima sombra.*

Para resolver este problema, bastará hallar el valor del ángulo EAB (fig. 93), que es la distancia zenital del ecuador, igual á la latitud del lugar. Sea AB la altura del gnómon, BC la longitud de la sombra mínima, y BD la de la máxima. De los triángulos ABC y ABD conociéndose los lados AB,BC,BD tendremos: tg. CAB $= \frac{BC}{AB}$ y tg. DAB $= \frac{DB}{AB}$. Y suponiendo que dichos ángulos representan la distancia máxima y mínima zenital del sol en un año; el plano del ecuador deberá dividir en dos partes iguales el ángulo DAC, pasando por el punto E sobre la línea meridiana BM. Será, pues, la distancia zenital del ecuador expresada por

$$\text{EAB} = \frac{\text{CAB} + \text{DAB}}{2}; \text{en efecto:}$$

$$\text{EAB} = \text{CAB} + \text{EAC y EAB} = \text{DAB} - \text{EAD},$$

sumando, resulta 2EAB = CAB + EAC + DAB — EAD, de aquí siendo EAC = EAD, será por fin $\text{EAB} = \frac{\text{CAB} + \text{DAB}}{2}$. Para hallar el valor de CAB y DAB, sabemos que

$$\text{tg. CAB} = \frac{\text{BC}}{\text{AB}}, \text{ y tg. DAB} = \frac{\text{DB}}{\text{AB}}$$

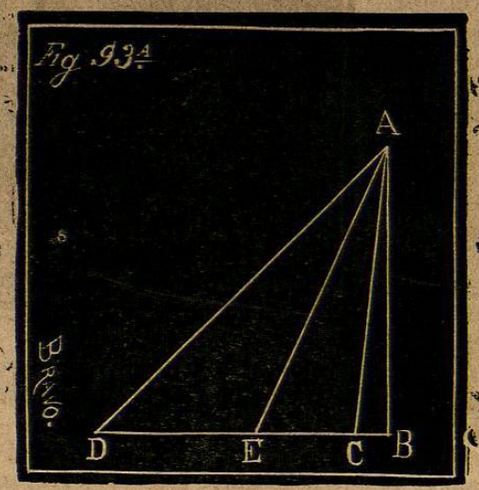
pues que BC = $0^m,0107$, como suponemos, DB = $0^m,0877$, y AB = $0^m,0572$, operando por logaritmos resulta:

Para la sombra mínima.	Para la sombra máxima.
log. $0^m,0107$ = 8.003348	log. $0^m,0877$ = 8.943088
—log. 0. 0572 = 8.757396	—log. 0. 0572 = 8.757396
log. tg. CAB = 9.245952	log. tg. DAB = 0.185692
CAB = 9°,59′,31″	DAB = 56°,53′,31″

pero siendo

$$\text{EAB} = \frac{\text{CAB} + \text{DAB}}{2} \text{ será EAB} = \frac{9°,59',31'' + 56°,53',31''}{2}$$

lo que dá EAB = 33°,26′,31″, que es la latitud pedida.



Problema 3º *Dada la latitud del lugar* = 33°,26′,31″ *y la altura del gnómon* = $0^m,0572$, *hallar la longitud de la sombra, máxima y mínima.*

Siendo EAB = 33°,26′,31″, será DAB = 33°,26′,31″ + ω (es ω la oblicuidad de la eclíptica), y CAB = 33°,26′,31″— ω: por otra parte, DB = AB. tg. DAB, y CB = AB. tg. CAB: Sustituyendo los valores;

será: *Para la sombra máxima* DB = AB tg. (33°,26′,31″+ω)

Para la sombra mínima CB = AB tg. (33°,26′,31″—ω),
ó sea DB = 0^m,0572 × tg. 56°,53′,31″
y CB = 0^m,0572 × tg. 9°,59′,31″

Por lo tanto tendremos:

log. 0^m,0572 =	8.757396	log. 0^m,0572 =	8.757396
+log. tg. 56°,53′31″ =	0.185692	+log. tg. 9°59′31″ =	9.245952
log. DB =	8.943088	log. CB =	8.003348
DB =	0^m,0877	CB =	0^m0107

PROBLEMA 4º *Hallar la latitud de un país por medio de la sombra en un dia cualquiera, conociendo la declinacion del sol.*

Sabemos que la latitud de un lugar está representada por el ángulo que forma el plano del Ecuador con el vértice del gnómon, cualquiera que sea su altura, es decir, por el ángulo EAB [fig. 93]. La sombra proyectada por el gnómon puede ser mayor ó menor que dicho ángulo, pero siempre entre los límites C y D que representan la declinacion máxima del sol. Siendo esto así, si á la longitud de la sombra observada añadimos la declinacion del sol, positiva ó negativa, tendremos la latitud del lugar. En efecto, siendo la distancia zenital del sol (que en este caso está representada por la longitud de la sombra) siempre igual á la latitud del lugar más ó ménos la declinacion [Lib. II. Cap. I. § 3º], lo que manifiesta la fórmula $Z = \lambda \pm \delta$, resulta que llamando M la longitud de la sombra, podrá resolverse el problema por la fórmula $\lambda = M \pm \delta$.

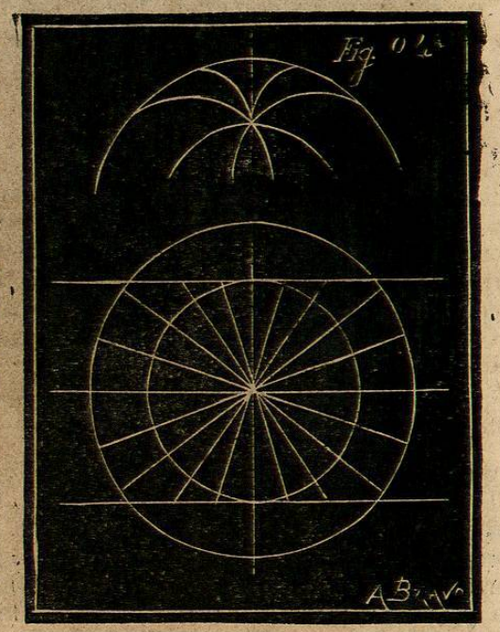
La aplicacion práctica del problema se deja á los aficionados. Los problemas enunciados son el fundamento sobre que se apoya la construccion de los cuadrantes solares, de que vamos á hablar.

§ 4.

Gnomónica.

152. Esta es aquella parte de la ciencia astronómica que enseña el modo de construir los cuadrantes solares. Trataremos aquí del modo práctico, indicando solo el principio sobre que se funda. Hay tres especies de cuadrantes: 1º ecuatoriales: 2º horizontales: 3º verticales. Los primeros se construyen sobre un plano que coincide con el plano del Ecuador, y verificándose esta condicion, pueden servir para cualquiera latitud. Los segundos se construyen sobre un plano horizontal, y no pueden servir sino para aquella latitud en que se hallan. Los últimos se trazan sobre un plano fijo vertical que se halle expuesto al lado del sol. Daremos á conocer cada una de las tres especies lo más brevemente que se pueda.

153. *Cuadrante ecuatorial.* Este cuadrante, que se construye sobre un plano paralelo al plano del Ecuador, tiene por gnómon un estilo que coincide con el eje del mundo, y por lo tanto, su vértice marcará la posicion del polo. Como por el vértice del gnómon pueden pasar todos los meridianos que se quieran, pues todos los meridianos pasan por el polo, bastará solamente proyectar sobre el plano los meridianos que distan uno de otro 15° [fig. 94]: estos meridianos proyectados sobre el plano, que vienen á ser los radios del círculo, serán las líneas horarias, pudiéndose, por lo dicho, tomar cualquiera de ellas por línea meridiana. Esta construccion se funda en el principio de que, moviéndose el círculo horario del sol uniformemente al rededor del eje del mundo, su trazo sobre el ecuador se mueve tambien uniformemente, describiendo 15° por hora. Si este cuadrante tuviera que servir para una latitud menor que 90°, seria necesario: 1º que la posicion del plano tuviera una inclinacion que formara con el plano horizontal del lugar un ángulo igual al complemento de la latitud: y 2º que deberia tener dos superficies paralelas y opuestas, en cada una de las cuales estuviera descrito un semicírculo con las líneas horarias correspondientes, pues el sol se halla seis meses sobre el ecuador, y otros seis meses debajo de él, alumbrando en cada una de estas épocas uno de los polos.



154. *Cuadrante horizontal.* El cuadrante horizontal no es más que una proyeccion del cuadrante ecuatorial sobre un plano horizontal, que forma con el plano del Ecuador un ángulo igual al complemento de la latitud del lugar. Sea MN (fig. 95) un cuadrante ecuatorial y RQ el plano horizontal. Prolónguese la recta PP′ que

UNIVERSIDAD DE NUEVO LEON
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
"ALFONSO REYES"
Apdo. 1625 MONTERREY, MEXICO