

15374

H  
M  
121

# MEMORIA

SOBRE LA LATITUD GEOGRÁFICA

## DEL REAL OBSERVATORIO

DE MADRID.

POR DON ANTONIO AGUILAR,

DIRECTOR DEL MISMO ESTABLECIMIENTO.



MANDADA PUBLICAR POR EL MINISTERIO DE GRACIA Y JUSTICIA.

MADRID: POR AGUADO, IMPRESOR DE CÁMARA DE S. M. Y DE SU REAL CASA.

**Diciembre 1853.**





# MEMORIA

DE LA JUNTA DE OBSERVACIÓN

## DEL REAL OBSERVATORIO

DE MADRID.

POR DON ANTONIO AGUILAR,

DIRECTOR DEL MISMO ESTABLECIMIENTO.

MANADA POR EL MINISTERIO DE GRACIA Y JUSTICIA.

MADRID: POR AGENCIA, IMPRESOR DE CÁMARA DE S. M. Y DE SU REAL CASA.

Barcelona 1853.



## I.

CUANDO se establece un Observatorio astronómico, el primer trabajo que debe emprenderse en él es la determinación exacta de su longitud y latitud geográficas. En cuanto á la longitud de Madrid es conocida con bastante aproximación, como veremos mas adelante; sin que esta sea una razón para que el Observatorio, por nuevas y muy repetidas observaciones, no trate de comprobar la exactitud de las determinaciones anteriores. No sucede lo mismo con su latitud, respecto de la cual no hay noticia de trabajo alguno hecho en el establecimiento con este objeto (1); y las observaciones hechas en diferentes puntos de la población dan resultados tan discordes entre sí, que la capital de España se encuentra con una incertidumbre en su latitud de mas de un cuarto de minuto, cantidad muy considerable si se atiende al estado de perfección á que han llegado las observaciones astronómicas. Era pues urgente hacer desaparecer esta duda, tanto por la necesidad que hay de conocer con precisión la latitud de las poblaciones de importancia para los adelantamientos geográficos,

(1) Debemos exceptuar las observaciones hechas en los años 1850 y 1851 por la Comisión de la Carta geográfica de la provincia, cuyos resultados no han visto aún la luz pública.



cuanto por lo indispensable que es para un Observatorio el conocimiento exacto de este elemento, que entra en casi todos los cálculos astronómicos.

Dos años hace que el Observatorio de Madrid está constituido, y causas bien ajenas á la voluntad de los astrónomos, han imposibilitado el emprender este trabajo hasta la primavera de este año. Faltos de buenos instrumentos, en posesion de algunos viejos y maltratados que existian desde antiguo en el Observatorio, no podia emprenderse una série de observaciones, cuyo resultado hubiera sido tan incierto como el que se trataba de comprobar. Además, el edificio satisface tan mal á las exigencias de la astronomía moderna, que no tiene un local á propósito desde donde se puedan hacer las observaciones que este trabajo exige, para que el resultado tenga todas las garantías de acierto que la astronomía práctica de estos últimos años ha sabido alcanzar. Era pues indispensable esperar, no solo á que llegase un instrumento de precision, sino á que se terminase el espediente que se instruia de algunos años á esta parte acerca de la necesidad que habia de que el establecimiento tuviera la propiedad del terreno que le rodea. Afortunadamente el último dia de febrero de este año se tomó posesion del que S. M. se dignó conceder al Observatorio, y se procedió inmediatamente á su circunvalacion, aunque de una manera provisional. Dueños ya del terreno, y en posesion de un teodolito construido por los Sres. *A. y G. Repsold* de Hamburgo, se procedió á construir una pequeña casa de madera cerca del salon oriental del Observatorio, con una abertura de tres pies de ancha en la direccion del meridiano, que permite por su poca altura, no solo observar los astros en este plano, sino en horarios de alguna consideracion, y las estrellas próximas al polo en todo el curso de su paralelo. En el centro de esta casita se construyó un pilar de fábrica de ladrillo y cal, terminado en la parte superior por una losa de piedra de Colmenar, con tres cajas donde entran las placas de metal sobre que insisten los pies del instrumento: este pilar tiene un cimiento bastante profundo, y se eleva á tres pies y medio sobre el nivel del terreno. De este modo se han evitado las oscilaciones del instrumento debidas á la inestabilidad que tiene cuando



se emplea un pie portátil, por bien construido que esté. Los resultados han sido tan satisfactorios, que tratando todos los días de hacer la nivelacion antes de empezar las observaciones, han trascurrido muchos de ellos sin tener que rectificarla en lo mas mínimo. Puesto por esta pequeña casa el instrumento al abrigo del sol, era preciso librarle tambien del polvo, tan perjudicial á los mismos, y tan sensible en el lugar de la observacion. Con este objeto se colocó una tapadera de hule forrada interiormente de bayeta, y de forma cilíndrica, que cubriendo el instrumento completamente y sin tocarle, venia á atarse al pilar. Se ponía y quitaba con facilidad por medio de una cuerda que pasaba por una polea situada en la compuerta que cerraba la ranura. Con todas estas precauciones el instrumento no ha padecido lo mas mínimo, y se halla en el estado mas perfecto de conservacion.

A fines de mayo pudo procederse á la colocacion del teodolito, y se empezaron los trabajos preparatorios, como son, la determinacion del valor angular de cada una de las divisiones de los niveles, la de la distancia ecuatorial de los hilos del retículo, el error de colimacion del anteojo, la inclinacion del eje, la diferencia de diámetros en los pezones del eje de rotacion del anteojo, y por fin, el estudio prolijo que debe hacerse de un instrumento que difiere esencialmente de los que se esplican generalmente en los libros.

No trato de dar una descripcion detallada del teodolito que ha servido para hacer las observaciones, solo indicaré las modificaciones que le hacen completamente distinto de los conocidos en nuestro pais.

El teodolito de Repsold, construido espresamente para el Observatorio de Madrid, tiene una forma elegante y perfectamente simétrica, evitando la mayor parte de los contrapesos, que en general no producen los mejores resultados.

El círculo horizontal, de quince pulgadas españolas de diámetro, tiene dos divisiones, una en el metal del círculo de diez en diez minutos, que sirve para buscar el astro por medio de un índice; la otra en plata de cuatro en cuatro minutos. El círculo *Nonio* está reemplazado por dos microscopios micrométricos, unidos fuertemente á dos piezas robustas de metal que salen de la parte inferior del eje



vertical. Por medio de pequeños tornillos de correccion, estos dos microscopios se sitúan en la direccion de un mismo diámetro del círculo horizontal. En el retículo del microscopio se hallan dos hilos de araña paralelos, formando un intervalo de catorce segundos. Las divisiones del círculo se observan en medio de este intervalo; y es indudable que el error de estima es mucho menor que cuando los hilos se cruzan formando ángulos muy agudos, y haciendo el ajuste de modo que la division del limbo sea la bisectriz de estos mismos ángulos.

Para observar las divisiones en el centro del campo de la vision, hay un hilo en una direccion perpendicular á la de los otros dos. Dos revoluciones del micrómetro corresponden á una division del limbo, es decir, á cuatro minutos; y como la cabeza del tornillo micrométrico está dividida en sesenta partes iguales, cada una corresponde á dos segundos, que es la aproximacion que da el instrumento.

Para examinar la regularidad del tornillo micrométrico, de quien depende la exactitud de las medidas, se ha determinado la distancia de los hilos del retículo del microscopio en varias divisiones del limbo, y recorriendo las diversas partes del tornillo; las diferencias son tan pequeñas, que mas pueden atribuirse á error de observacion que á imperfeccion del tornillo.

Habiéndose observado que la lectura microscópica varía segun la inclinacion de la luz que alumbra el limbo del instrumento, existe un tubo que va desde el objetivo del microscopio hasta una distancia mínima de aquel; y por medio de una abertura practicada en el tubo, y de un plano inclinado, se logra que la luz caiga perpendicularmente sobre el limbo, evitando de este modo la luz lateral; este tubo es movable, para ponerle en la situacion mas adecuada á recibir la mayor cantidad de luz posible. Con todas estas precauciones es admirable la precision con que se hacen las lecturas, tanto por la delicadeza y claridad de la division, como por la regularidad de los tornillos micrométricos.

El antejo del teodolito es truncado, de modo que el ocular le tiene en la prolongacion de uno de los pezones del eje horizontal de rotacion. Esto produce la doble ventaja de no variar la posicion del observador, cualquiera que sea la distancia zenital que se observe, y de te-



ner los dos pezones perforados, pues el opuesto al ocular lo está para la iluminacion de los hilos en las observaciones nocturnas, y de este modo las dilataciones por las diferencias de temperatura son mas uniformes que cuando solo lo está uno. Pero en compensacion tiene la des-ventaja de que los rayos luminosos tienen que sufrir una reflexion en el prisma situado en la interseccion del tubo del anteojo con el eje horizontal, y sabido es que siempre hay una cantidad de luz perdida. A este prisma es debido sin duda un defecto que se ha notado en la imagen de las estrellas, presentándolas un poco alargadas, y que las hace aparecer á veces como estrellas dobles. Es sensible que el artista no haya colocado algun tornillo que permita al astrónomo corregir la situacion del prisma que sirve para cambiar noventa grados la direccion de los rayos luminosos. La distancia focal del anteojo es de 21,5 pulgadas, y la abertura 20,7 líneas. El retículo tiene seis hilos verticales. La interseccion de los dos verticales de enmedio con los dos horizontales forma un pequeño cuadrado, en cuyo centro he observado los astros. Para probar la bondad del objetivo, perfectamente acromático, baste decir que, á pesar de no tener mas que 20,7 líneas de abertura, se ve la estrella polar con bastante claridad para ser observada á las nueve de la mañana, y algunas de las mas brillantes del Sur se han observado una hora antes del paso del sol por el meridiano.

Sobre el eje de rotacion del anteojo están dos círculos de 41 pulgadas de diámetro, simétricamente colocados, y que sirven para medir las distancias zenitales. La division directa es, como la del círculo horizontal, de cuatro en cuatro minutos; y la subdivision se hace por medio de dos microscopios iguales á los anteriores: estos microscopios están unidos á los extremos de una palanca, cuyo centro enchufa en la prolongacion de uno de los pezones del anteojo; y para que éste pueda girar sin variar la posicion horizontal de la línea de los microscopios, tiene otra segunda palanca perpendicular á la primera, é invariablemente unida á ella en su centro, cuyo extremo queda cogido entre una rosca de presion y un resorte. Con el movimiento del tornillo se da al eje de los microscopios un movimiento de báscula hasta lograr la perfecta horizontalidad del eje. De este modo el movi-



miento del anteojo no produce alteracion ninguna en la situacion de los microscopios. Sin embargo existe encima del brazo de estos un nivel, que acusa las pequeñas oscilaciones que aquel pudiera tener al girar el anteojo sobre su eje horizontal. Como este nivel no puede invertirse, existe otro susceptible de hacerlo para rectificar la posicion del primero, y asegurarse de que el eje del nivel es paralelo al eje del porta-microscopios. Hay además el gran nivel, que se coloca sobre los pezones del anteojo para nivelar el instrumento por medio de los tornillos de los pies, y hallar la inclinacion del eje por su inversion. Todos estos niveles tienen su cubierta de cristal, para que la diferencia de temperatura producida por la proximidad del observador al hacer la lectura, no influya en la alteracion de la ampolla. Nada diremos de la perfeccion de estos niveles, porque es conocida de los astrónomos su superioridad sobre los de los demás artistas. No teniendo un aparato auxiliar propio para la determinacion del valor angular correspondiente á cada una de las divisiones de los niveles, lo he suplido con el mismo instrumento, por un método susceptible de mucha exactitud, y descrito en *Sawitschs* (1); y el promedio de tres determinaciones ha dado por resultado, que cada una de las divisiones del gran nivel vale  $2'',11$ , y cada una de las correspondientes á los niveles de los microscopios  $2'',14$ . Para equilibrar el peso del porta-microscopios, existe cerca del ocular un contrapeso, único que tiene el instrumento.

En la investigacion del error de colimacion del anteojo en la determinacion de la latitud, cuando el anteojo del teodolito está situado en la direccion del primer vertical, y en otras varias ocasiones, conviene hacer el cambio del anteojo, esto es, que el pezon del eje que estaba sobre la *Y* de la derecha vaya á apoyarse sobre la *Y* de la izquierda, y vice-versa; y conviene que este cambio se haga con la mayor prontitud posible, al mismo tiempo que con gran cuidado para que la posicion de las *Y* no varie en lo mas mínimo. Este problema le resolvieron los primeros los Sres. A. y G. Repsold al construir el gran instrumento de pasos situado en la direccion Este-Oeste del Observatorio

(1) Abriss der practichen Astronomie.



de Pulkova, y despues lo han aplicado satisfactoriamente á los pequeños instrumentos. Un minuto de tiempo es suficiente para hacer el cambio y tener vuelto el anteojo al mismo astro que se estaba observando. El mecanismo que para ello se emplea es muy sencillo. Debajo de los pezones y á una pequeña distancia hay una pieza en forma de Y, unida á un eje vertical de acero. Subiendo este eje la pieza mencionada coje los pezones del anteojo y los eleva por encima de sus apoyos naturales, permitiendo entonces se verifique el cambio por un giro al rededor de dicho eje, el cual sigue sosteniendo todo el instrumento en su descenso hasta que encuentra sus primitivos apoyos, en cuyo punto los abandona. El extremo del eje de acero recibe el movimiento por una placa circular unida escéntricamente á un eje horizontal, de modo que el diámetro que pasa por el punto de union de dicha placa con el eje horizontal esté vertical en el caso de hallarse el aparato del cambio lo mas alto ó lo mas bajo posible. El movimiento del eje en su ascenso y descenso es tan insensible como puede apetecerse, y en razon del incremento de las cuerdas que parten del punto de union á los diferentes de la circunferencia, sobre que va sucesivamente descansando el extremo del eje. Para favorecer la fuerza hay al extremo del horizontal una placa circular de gran diámetro, que sirve de brazo de palanca.

Ninguno de los limbos del instrumento sufre presion ni rozamiento alguno en sus movimientos. Para fijar el instrumento en un acimut determinado, se emplea un tornillo que obra normalmente sobre el eje de rotacion; y para colocarlo á una distancia zenital dada, existe una mordaza que coje un semicírculo colocado debajo del anteojo, y en medio de los círculos graduados. El anteojo no puede hacer una revolucion completa al rededor del eje horizontal, y solo gira en una estension de doscientos diez grados; por consiguiente, no pueden observarse los astros por reflexion, y bien conocidos son los ventajosos resultados que se obtienen por tales observaciones. La union invariable de los círculos de altura al eje del anteojo, no permite cambiar el cero de la graduacion para eliminar los errores accidentales, ó de otra especie, que el artista haya cometido al ejecutar la division. Con estas dos últi-



mas modificaciones, el instrumento de Repsold sería el mas perfecto de cuantos instrumentos trasportables se conocen, y apto para hacer toda clase de observaciones, tal vez con la misma precision que con los grandes instrumentos fijos que existen en los Observatorios, sobre todo si está en poder de manos hábiles, que sepan sacar de tan precioso instrumento todo el partido de que él es susceptible.

La distancia ecuatorial de los hilos del retículo, es el promedio de 30 observaciones hechas por D. Eduardo Novella (1) y por mí, de pasos por el meridiano de  $\alpha$ ,  $\delta$ , y  $\epsilon$  *Ursæ minoris*. Las distancias son á un hilo ficticio que llamaremos 4°, y que dividiria en dos partes iguales el espacio comprendido entre los dos verticales de en medio. Las distancias son las siguientes:

I á IV	II á IV	III á IV	IV á V	IV á VI	IV á VII
37",353	18",618	1",387	1",387	18",659	37",150.

Verificándose el cambio del anteojo con la facilidad que hemos dicho, se puede determinar con toda exactitud el error de colimacion por medio de observaciones astronómicas. Las dos veces que he hallado dicho error, ha sido por medio de la observacion de la polar en su paso superior antes y despues del cambio. A pesar de que esta estrella no emplea mas que 1", 40' en pasar del 3.º al 4.º hilo, he tenido tiempo suficiente para ejecutar dicho cambio con toda comodidad. Conociendo la distancia de los hilos al hilo meridiano, tenia dos pasos de la estrella por este plano, que si el eje óptico del anteojo hubiera sido perpendicular al horizontal de rotacion, serían idénticos. Llamando  $t$  al 1.º y  $t'$  al segundo, he obtenido la primera vez

$$\left(\frac{t'-t}{2}\right) \cos.\delta = 0.31, \text{ y la segunda } \left(\frac{t'-t}{2}\right) \cos.\delta = 0.25,$$

$\delta$  representa la declinacion de la estrella.

(1) El mal estado de salud de mi compañero, no le ha permitido seguir tomando parte en este trabajo, por el que en la estacion mas calurosa del año habia necesidad de ir al Observatorio dos ó tres veces al dia.



Tambien he determinado con mucha frecuencia la inclinacion del eje de rotacion del anteojo, y el máximo valor obtenido ha sido de 7". Conocidos estos dos errores de colimacion y de inclinacion, he averiguado la influencia que podrian tener en la exactitud de las observaciones de distancias zenitales, y he visto que cuando estas están comprendidas en los límites de las de mis observaciones, el error que se comete es menor que 0'',001, cantidad despreciable.

## II.

Veamos ahora cuál de los varios métodos que existen para la determinacion de la latitud es el mas adecuado en las circunstancias en que yo me encontraba para obtener un resultado satisfactorio.

Llamemos  $z$  á la distancia zenital del astro,  $p$  su distancia al polo boreal,  $\phi'$  la colatitud geográfica,  $a$  el acimut contado desde el Norte,  $q$  el ángulo que forma el círculo de declinacion con el vertical del astro llamado ángulo paraláctico, y  $t$  el horario del mismo. La Trigonometría esférica nos dará las siguientes relaciones.

$$\text{sen.}\phi' = \text{sen.}p \frac{\text{sen.}q}{\text{sen.}a}$$

$$\text{sen.}\phi' = \text{sen.}z \frac{\text{sen.}q}{\text{sen.}t}$$

Diferenciando estas dos ecuaciones con relacion á todas sus variables excepto á  $q$ , que no se puede observar directamente y que depende de tres de las cuatro variables  $p$ ,  $t$ ,  $a$ ,  $z$ , hallaremos facilmente

$$d\phi' = \frac{\text{sen.}q}{\text{sen.}a} \times \frac{1}{\cos.\phi'} (\cos.p dp - \text{sen.}p \cot.a da)$$



$$d\varphi' = \frac{\text{sen. } q}{\text{sen. } a} \cdot \frac{\text{sen. } p}{\cos. \varphi'} (\cot. z dz - \cot. t dt)$$

Estas dos ecuaciones demuestran, que el error que se comete en la determinacion de la latitud, será un mínimo cuando lo sea el factor  $\frac{\text{sen. } q}{\text{sen. } a}$ ; este mínimo puede obtenerse de dos modos distintos, haciendo

$$1.^{\circ} \dots \dots q = 0 = 180^{\circ}.$$

$$2.^{\circ} \dots \dots a = 90^{\circ} = 270^{\circ}.$$

Estas espresiones nos hacen ver que hay dos circunstancias favorables para determinar  $\varphi'$  ó sea la latitud, observando distancias zenitales de un astro.

1.° En el plano meridiano en que  $q=0$ .

2.° En el perpendicular á él en que  $a=90^{\circ}=270^{\circ}$ .

Este 2.° método tiene la ventaja de que la latitud es independiente de los errores de division del instrumento, de modo que se puede observar con un simple anteojo de pasos sin círculos graduados. En cambio, para eliminar los pequeños errores que se cometen en la determinacion del tiempo, así como los de colimacion é inclinacion (errores que influyen mas que en las observaciones de distancias zenitales) es preciso observar estrellas circunzenitales. Entre las del estado, solo  $\alpha$  *Liræ* pasa cerca del zenit de Madrid, y aun esta estrella dista  $1^{\circ} 46'$  de dicho punto. Verdad es que hubiera podido tomar pequeñas estrellas de los catálogos; pero estas no ofrecen tanta confianza como las llamadas fundamentales, y el Observatorio no posee todavía instrumentos fijos para determinar con exactitud la posicion de estas pequeñas estrellas. Atendiendo á esta razon, y á que el primer método ofrece la gran ventaja de poder hacer un gran número de observaciones, y eliminar los pequeños errores de division de los círculos, tomando varias estrellas á distancias zenitales distintas, me decidí por el 1.°, sin perjuicio de emplear el 2.° cuando hayan desaparecido las causas que han motivado la preferencia dada á aquel.



Las fórmulas que he empleado permiten observar la polar en un punto cualquiera de su paralelo, método que tiene la inmensa ventaja de no sujetar al astrónomo á hacer las observaciones en ciertas épocas del año ó en horas muy molestas. Estas fórmulas son bastante conocidas, y fueron demostradas por nuestro sábio español D. José Sanchez Cerquero en el almanaque náutico de 1829. Pero necesitándolas para distancias zenitales y no para alturas, les daremos la forma que les da Sawistch, cuyo método seguiremos al pie de la letra.

Supongamos que  $s$  y  $s'$  sean los tiempos correspondientes á dos distancias zenitales  $z$  y  $z'$  libres ya de la refraccion;  $t$  y  $t'$  los ángulos horarios correspondientes;  $\alpha$  la ascension recta de la estrella, tendremos evidentemente

$$t = s - \alpha; \quad t' = s' - \alpha.$$

Si representamos por  $\phi$  la latitud del lugar, y por  $\delta$  la declinacion del astro, la Trigonometría esférica nos dará:

$$\cos.z = \sin.\phi \sin.\delta + \cos.\phi \cos.\delta \cos.t,$$

$$\cos.z' = \sin.\phi \sin.\delta + \cos.\phi \cos.\delta \cos.t',$$

de donde

$$\cos.z - \cos.z' = \cos.\phi \cos.\delta (\cos.t - \cos.t')$$

Si suponemos  $t' = 0$ , es claro que  $z'$  se convierte en la distancia zenital meridiana, la cual representaremos por  $Z$ , y la ecuacion anterior con fáciles trasformaciones, toma la forma

$$\sin.\left(\frac{z-Z}{2}\right) = \frac{\cos.\phi \cos.\delta \sin.\frac{1}{2}t}{\sin.\left(\frac{z+Z}{2}\right)} \dots\dots\dots (A)$$

Si la estrella se observa en su culminacion inferior, entonces  $t' = 180^\circ$ , poniendo  $t' - 180^\circ = T$ , se contará el horario desde la culminacion inferior. Llamemos  $Z$  la verdadera distancia zenital meridiana en la culminacion inferior; la fórmula tomará esta otra forma.



$$\operatorname{sen}.\left(\frac{Z_1 - z}{2}\right) = \frac{\cos.\phi \cos.\delta \operatorname{sen}.\frac{1}{2}T}{\operatorname{sen}.\left(\frac{Z_1 + z}{2}\right)} \dots\dots\dots (B)$$

Estas dos últimas fórmulas han servido para reducir al meridiano las distancias zenitales de la polar.

Las distancias zenitales de las demás estrellas han sido calculadas por las fórmulas anteriores simplificadas por la consideracion de que la estrella se ha de observar cerca del meridiano, modificacion que puede hacerse sin perjudicar la exactitud del resultado, siempre y cuando el horario no pase de ciertos límites. Si en la ecuacion (A) se hace  $z - Z = x$ , y en la (B)  $Z_1 - z = x$ , tendremos evidentemente

$$\operatorname{sen}.\frac{x}{2} = \frac{\cos.\phi \cos.\delta \operatorname{sen}.\frac{1}{2}t}{\operatorname{sen}.\left(Z + \frac{x}{2}\right)} \dots\dots\dots (A')$$

$$\operatorname{sen}.\frac{x}{2} = \frac{\cos.\phi \cos.\delta \operatorname{sen}.\frac{1}{2}T}{\operatorname{sen}.\left(Z_1 - \frac{x}{2}\right)} \dots\dots\dots (B')$$

Si el horario no es mayor que  $40''$ , la correccion  $x$  será muy pequeña, y se podrá tomar el arco por el seno. Teniendo presente que la fórmula debe ser homogénea y que  $x$  debe representar un arco, será

$$x = \frac{\cos.\phi \cos.\delta}{\operatorname{sen}.\left(Z + \frac{x}{2}\right)} \cdot \frac{2 \operatorname{sen}.\frac{1}{2}t}{\operatorname{sen}.1''} \dots\dots\dots (A'')$$



$$x = \frac{\cos. \phi \cos. \delta}{\text{sen.} \left( Z - \frac{x}{2} \right)} \cdot \frac{2 \text{sen.}^2 \frac{1}{2} T}{\text{sen.} 1''} \dots \dots (B)$$

Con el horario  $t$  ó  $T$  como argumento, se encuentra en las tablas de Mr. Schumacher (1) el logaritmo correspondiente al factor  $\frac{2 \text{sen.}^2 \frac{1}{2} t}{\text{sen.} 1''}$ .

Conocida la declinacion de la estrella y la latitud aproximada, se calcula

$Z$  ó  $Z_0$ , y tenemos por consiguiente el logaritmo del factor  $\frac{\cos. \phi \cos. \delta}{\text{sen.} Z}$ .

Sumado al de  $\frac{2 \text{sen.}^2 \frac{1}{2} t}{\text{sen.} 1''}$  tendremos un valor aproximado de  $x$ , que introducido en el denominador de la expresion anterior, nos dará su verdadero valor.

### III.

Las estrellas observadas primeramente fueron  $\alpha$  *Ursæ minoris* y  $\epsilon$  *Orionis*, por pasar á iguales distancias del zenit de Madrid; y el pequeño error que puede provenir del de la graduacion del círculo, y el de la flexion del tubo, quedan por esta razon eliminados en el promedio. Despues he tomado

$\delta$ <i>Ursæ minoris</i> (paso inferior).	} AL NORTE.	$\alpha$ <i>Orionis</i> . . . . .	} AL SUR.
$\delta$ <i>Draconis</i> (2). . . . .		$\alpha$ <i>Canis majoris</i> .	
$\epsilon$ <i>Cephei</i> . . . . .		$\alpha$ <i>Canis minoris</i> .	

(1) Sammlung von Hülsstafeln heraus gegeben im Jahre 1822 von C. H. Schumacher.

(2) La posicion aparente de esta estrella no se encuentra en el almanaque de S. Fernando ni en el de Greenwich, y ha sido calculada por los métodos de Bessel. Su posicion media para principio de enero de 1840 ha sido tomada del catálogo de 40 circumpolares inserto en Sawitsch, obra ya citada. Este catálogo ha sido formado de los de Struve, Argelander, Pond Ayri Johnson, y principalmente de las observaciones de Peters en el Observatorio de Pulkova.



El número de observaciones de cada una de estas estrellas, es bastante considerable para que pueda mirarse el promedio como libre de los errores accidentales de observacion. Al fin de cada série pongo cuál es la probabilidad de cada uno de estos errores.

En cada posicion del instrumento he hecho dos observaciones, una llevando la imagen de la estrella con el tornillo que imprime el movimiento lento al círculo vertical de arriba á abajo, y otra de abajo á arriba hasta colocarle entre los dos hilos horizontales. Para evitar el error que puede provenir de una pequeña inclinacion en estos hilos, he colocado siempre la estrella en el centro del pequeño cuadrado formado por la interseccion de los verticales de enmedio con los horizontales. En el cálculo de la refraccion he necesitado la distancia zenital aparente de la estrella en cada una de las observaciones; para esto comparaba cada una de las lecturas con la correspondiente al zenit, determinado por dos lecturas sucesivas en diferentes posiciones del círculo de los microscopios. El error que cometia en la polar, suponiéndola fija en este intervalo, era despreciable para el cálculo de la refraccion á 48° de distancia zenital; y en las estrellas al Sur en que el movimiento es mas rápido, me servia de las dos lecturas correspondientes á la mayor proximidad del astro al meridiano, para la determinacion del zenit.

Dos observaciones hechas con el círculo vertical de los microscopios á la derecha, cuatro con él á la izquierda, y otras dos en la primera posicion, dan una série completa de observaciones cuyo resultado es el promedio de cuatro distancias zenitales. El número de ellas en cada dia ha variado segun las circunstancias atmosféricas, habiendo llegado en algunos á ocho séries que dan un promedio de 52 latitudes. Aunque las tablas de Mr.

*Schumacher* dan el logaritmo correspondiente al factor  $\frac{2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} t}{\operatorname{sen} 1''}$  para

horarios de cuarenta minutos, han sido muy pocos los dias en que he observado á tanta distancia del meridiano, y me he contentado con tomar distancias veinte minutos antes y veinte despues del paso por este plano, para que un pequeño error en el tiempo no pudiese influir en la distancia zenital. Los intervalos de tiempo en el cronómetro se han



tomado como intervalos de tiempo medio, no habiendo sido nunca el movimiento diurno de aquel mayor de  $2^s,5$ .

Las ascensiones rectas y declinaciones de las estrellas se han tomado del almanaque náutico que se publica en el Observatorio de San Fernando, así como los elementos necesarios para el cálculo del tiempo con las correcciones debidas á la diferencia de longitudes. Para la refracción se ha observado un barómetro inglés que sirvió al Sr. Bauzá en sus viajes, y un buen termómetro de Reaumur: estas observaciones se hacían al principio de cada serie. Las tablas de reducción han sido las del Dr. Young publicadas en el mismo almanaque, y que á las alturas que yo he observado dan tan buenos resultados como las de Bessel, que son tenidas por las mejores, pero cuyo uso no es tan cómodo como el de las primeras.

De la buena determinación del tiempo, dependía en gran parte la exactitud del resultado. En la situación del teodolito no era fácil tomar distancias zenitales de estrellas, cuando estas se hallaban cerca del primer vertical, si se hacían á cierta altura, como era preciso para evitar los errores debidos á la refracción. Me decidí por el método de alturas correspondientes, método que es susceptible de grande exactitud, si bien es verdad que tenía el grande inconveniente de tener que ir dos veces al Observatorio, una de ellas con toda la fuerza del calor que se experimentaba en Madrid, y viviendo en otro extremo de la población. El instrumento de que me he valido ha sido de un excelente sextante de reflexión del Sr. Oerling de Berlin, que da diez segundos.

El mercurio del horizonte artificial está sobre un platillo de cobre, que forma por consiguiente una amalgama con él; y de este modo moja las paredes del vaso, formando una superficie perfectamente plana, y evitando por consiguiente la deformación de la imagen reflejada cuando la observación se hace en los bordes del horizonte. Se logra también el efecto que *Schumacher* llama *pacificador* á causa de disminuirse notablemente las oscilaciones del mercurio cuando se mueve el horizonte artificial. Las alturas se tomaban cada tres días, y la marcha del cronómetro con que se han hecho las observaciones (Núm. 2277 Dent.) ha sido en general buena, sin que haya dejado de presentar algunas



anomalías á lo que nuestros marinos llaman *saltos*. Todo el que ha manejado cronómetros, sabe que por muy buenos que estos sean, y por mucho que se haya adelantado en su construcción, no marchan con la regularidad que su teoría indica, y que no hay compensación ninguna que satisfaga completamente en la práctica. Verdad es que estas oscilaciones son pequeñas en los buenos cronómetros, pero que no obligan menos al astrónomo á desconfiar de la marcha de aquellos, y á determinar su estado absoluto con mucha frecuencia. Cuando he notado un adelanto ó atraso en su movimiento diurno, he supuesto que este ha sido uniforme, y lo he distribuido proporcionalmente al tiempo, aunque este procedimiento no sea justificable, pero no había medio de verificar si había sido un *salto* brusco, y cuándo se había verificado éste. Una sola vez el movimiento diurno ha variado de  $+0^s,5$  á  $-0^s,8$ , y dos veces ha saltado de  $+1^s,5$  á  $2^s,5$ . Las demás oscilaciones han sido uniformes, y guardando cierta ley. El pequeño error que podía haber en el tiempo absoluto, debido á estas pequeñas irregularidades, no tomando alturas mas que cada tercer día, no ha producido error ninguno en la latitud, porque tenía la precaución de que el ayudante que hacía las apuntaciones formase los horarios orientales en que observaba la estrella, y me marcaba con una pequeña anticipación el instante en que debía volver á observar al Occidente; de este modo los horarios orientales y occidentales difieren solo en algunos segundos, y si unas lecturas eran demasiado grandes, las otras eran demasiado pequeñas en la misma cantidad, y el error no afectaba al promedio de un día. Cuando se tomaban alturas correspondientes, el estado absoluto del cronómetro, era conocido con bastante exactitud. Siempre que las circunstancias lo permitían, se observaba el sol en las proximidades del primer vertical. Al fin de esta memoria se pone un ejemplo de alturas correspondientes tomado del cuaderno donde obran las observaciones originales, para que se vea la uniformidad de estas. La corrección debida al movimiento del sol en declinación, ha sido calculada por medio de la fórmula  $x = -A\mu tg\phi + B\mu tg\delta$ . Los logaritmos de  $A$  y  $B$  los dan las tablas de Mr. Schumacher, ya citadas; el argumento para buscar dichos logaritmos es el semi-intervalo



comprendido entre dos observaciones correspondientes:  $\mu$  se halla para todos los días del año en las efemérides que se publican en Berlin;  $\varphi$  es la latitud del observatorio, y  $\delta$  la declinacion del sol. Cuatro decimales en los logaritmos dan suficiente exactitud.

Nos falta ver si la aberracion diurna produce alguna correccion en la distancia zenital de una estrella. Si representamos esta correccion por  $dz$  tendremos en el paralelo del Observatorio

$$dz = 0'',235 \cos. z \operatorname{sen}. a;$$

$a$  es el azimut contado desde el Norte. Esta fórmula nos indica que en las distancias zenitales circummeridianas, los efectos de la aberracion diurna son iguales y de signos contrarios, y por consiguiente se destruyen, y respecto de la polar el azimut es siempre tan pequeño que el valor de  $dz$  es despreciable, así es que en ningun cálculo he tenido en cuenta esta corrección.

Todas estas precauciones, y algunas mas que tal vez no haya tenido presentes, no parecerán escesivas tratándose de alcanzar una grande exactitud, si se considera que en nuestro círculo vertical un segundo está representado por una cantidad igual á  $\frac{3}{10000}$  de línea, y lo que yo me he propuesto es que el resultado final esté comprendido dentro de este límite.

#### IV.

Los tipos que se han seguido para el cálculo de las observaciones son los señalados al fin de esta Memoria con los números 1 y 2. El 1.º lo es de una serie completa de observaciones de la polar perteneciente al día 11 de julio, y el 2.º, correspondiente á una de las series tomadas el 24 de agosto, es un modelo de los cálculos verificados con



las observaciones de las demás estrellas, todos ellos los he hecho con el mayor cuidado, y espero que no se haya deslizado ningun error (1). Los siguientes cuadros presentan el resultado de las observaciones.

$\alpha$  URSÆ MINORIS (*polar*).

1853.	Número de observaciones.	Latitudes sencillas.	Diferencias al promedio.	Latitudes combinadas.	Número de observaciones.
Junio 22	2	40°24'31'',8	—0'',7	40°24'31'',8	2
26	3	32'',1	—1'',0	32'',9	5
27	5	29'',4	+1'',7	30'',7	10
Julio 1	3	31'',6	—0'',5	30'',9	13
4	4	28'',9	+2'',2	30'',4	17
6	8	30'',3	+0'',8	30'',4	25
11	8	30'',9	+0'',2	30'',5	33
12	8	31'',4	—0'',3	30'',7	41
13	20	30'',7	+0'',4	30'',7	61
17	8	30'',3	+0'',8	30'',6	69
19	8	30'',2	+0'',9	30'',6	77
20	8	31'',2	—0'',1	30'',7	85
21	5	32'',9	—1'',8	30'',8	90
22	16	31'',5	—0'',4	30'',9	106
24	16	31'',3	—0'',2	31'',1	122
25	24	31'',8	—0'',7	31'',1	146
Agosto 7	8	31'',5	—0'',4	31'',1	154
9	26	31'',0	+0'',1	31'',1	180
10	9	29'',6	+1'',5	31'',0	189
11	12	28'',8	+2'',3	30'',9	201
12	13	30'',9	+0'',2	30'',9	214
13	32	31'',6	—0'',5	31'',0	246
14	32	31'',8	—0'',7	31'',1	278

(1) En el archivo del Observatorio existen las observaciones originales con todos los cálculos de reduccion.



En virtud de la serie de las diferencias al promedio de cada una de las observaciones y por la teoría del cálculo de las probabilidades, se deduce facilmente:

Para error probable de un dia. . . . . 1'',0.

Para error del promedio. . . . . 0'',2.

En esta probabilidad solo se consideran los errores accidentales de observacion que dependen de tres causas: 1.<sup>a</sup> un error de puntería; 2.<sup>a</sup> un error en la lectura de los microscopios; 3.<sup>a</sup> un error en la lectura del nivel: pero de ningun modo se comprenden los errores constantes y que provienen de la flexion del tubo, del error de division, del instrumento, del de la declinacion de la estrella, &c.

δ URSÆ MINORIS (*paso inferior*).

1853.	Número de observaciones.	Latitudes sencillas.	Diferencias al promedio.	Latitudes combinadas.	Número de observaciones.
Set. 27	6	40°24'30'',6	+1'',1	40°24'30'',6	6
29	12	32'',3	-0'',6	31'',7	18

Error probable de un dia. . . 1'',0.

Error del promedio. . . . . 0'',7.



δ DRACONIS.

1853.	Número de observaciones.	Latitud.
Octubre 2	16	40° 24' 30'',4

No pude seguir observando esta estrella á causa del mal tiempo, y cuando este mejoró aquella pasaba ya por el meridiano demasiado temprano para ser vista en el anteojo.

ε CEPHEI.

1853.	Número de observaciones.	Latitudes sencillas.	Diferencias al promedio.	Latitudes combinadas.	Número de observaciones.
Nov. 23	16	40° 24' 30'',7	—0,2	40° 24' 30'',7	16
24	6	30'',1	+0,4	30'',5	22
25	12	29'',9	+0,6	30'',3	34
26	8	31'',6	—1,1	30'',5	42

Error probable de un día..... 0'',8

Idem del promedio..... 0'',4



ε ORIONIS (*Rigel*).

Número de observa- ciones.	Número de observa- ciones.	Latitudes sencillas.	Diferencias al promedio.	Latitudes com- binadas.	Número de observa- ciones.
Ag.° 16	2	40°24'28'',5	+0'',6	40°24'28'',5	2
17	16	29'',1	0'',0	29'',0	18
18	24	29'',7	-0'',6	29'',4	42
21	10	50'',1	-1'',0	29'',5	52
23	24	28'',2	+0'',9	29'',1	76
24	28	28'',5	+0'',6	29'',0	104
25	54	29'',5	-0'',4	29'',1	158
28	52	29'',0	+0'',1	29'',1	170

Error probable de un día..... 0'',5.

Idem del promedio..... 0'',2.



$\alpha$  ORIONIS.

1853.		Número de observaciones.	Latitudes sencillas.	Diferencias al promedio.	Latitudes combinadas.	Número de observaciones.
Set.	6	12	40°24'29'',3	-0'',1	40°24'29'',3	12
	7	16	29'',9	-0'',7	29'',6	28
	8	10	28,2	+1',0	29'',2	38

Error probable de un día..... 0'',7

Idem del promedio..... 0'',4

 $\alpha$  CANIS MAJORIS (*Sirio*).

1853.		Número de observaciones.	Latitudes sencillas.	Diferencias al promedio.	Latitudes combinadas.	Número de observaciones.
Set.	6	18	40°24'26'',8	+0'',5	40°24'26'',8	18
	8	24	26'',2	+1'',1	26'',5	32
	11	20	27'',4	-0'',1	26'',9	52
	12	20	27'',4	-0'',1	27'',0	72
	15	16	28'',4	-1'',1	27'',3	88

Error probable de un día..... 0'',8

Idem del promedio..... 0'',4



$\alpha$  CANIS MINORIS (*Procion*).

1853.	Número de observaciones.	Latitudes sencillas.	Diferencias al promedio.	Latitudes combinadas.	Número de observaciones.
Set. 11	12	40°24'29'',3	—0'',3	40°24'29'',3	12
12	16	28'',9	+0'',1	29'',1	28
13	10	29'',9	—0'',9	29'',3	38
16	10	28'',1	+0'',9	29'',0	48
27	18	28'',9	+0'',1	29'',0	66

Error probable de un día..... 0'',7

Idem del promedio..... 0'',3

## RESUMEN.

		Número de observaciones.
Al Norte.	$\alpha$ Ursæ minoris.....	40° 24' 31'',1
	$\delta$ Ursæ minoris. ....	31'',7
	$\delta$ Draconis.....	30'',4
	$\epsilon$ Cephei.....	30'',5
Al Sur...	$\epsilon$ Orionis.....	29'',1
	$\alpha$ Orionis.....	29'',2
	$\alpha$ Canis majoris.....	27'',3
	$\alpha$ Canis minoris.....	29'',0

Promedio de 354 observaciones al Norte... 40° 24' 31'',0

Idem de 362 al Sur..... 40° 24' 28'',7



El día 24 de agosto apareció á la simple vista el cometa descubier-  
to por Klinkerfues el 13 de junio en Gottinga. Aquel día nos conten-  
tamos mi compañero y yo en contemplarlo con un acromático de  
Dollond, y no hubiéramos pasado adelante, persuadidos como estába-  
mos de que no teniendo una ecuatorial, nuestras observaciones no po-  
dian contribuir con las de los demás observatorios á la investigacion  
de los verdaderos elementos de la órbita de este cometa. Pero toda la  
poblacion manifestó deseos de que el Observatorio de Madrid *dijese*  
*algo*. La prensa, que sin duda no conocia el estado del establecimiento,  
manifestó estrañeza de que nada publicáramos; y personas ilustradas  
que conocian nuestra posicion, y que se interesan mucho en el por-  
venir del Observatorio, nos aconsejaban se hiciesen algunas observacio-  
nes, aunque fuesen sin fruto para la ciencia. Movidos por estas razo-  
nes, decidimos tomar unas cuantas distancias zenitales y azimutes del  
cometa, que convertidos en ascensiones rectas y declinaciones se publi-  
caron en la Gaceta del 2 de setiembre. Este incidente me contrarió  
tanto mas, cuanto que no podia observar el cometa desde la estacion  
en que se hallaba el teodolito, y fue necesario trasladarle á otra, desde  
donde volví á observar la  $\epsilon$  Orionis para ver hasta qué punto aquel  
instrumento apreciaba la distancia entre las dos estaciones, que por  
la medicion que se ha hecho despues, y reducida al meridiano, resulta  
ser de 391 pies españoles.

El día 28 hice 32 observaciones de distancias zenitales de la  $\epsilon$   
Orionis, y el promedio me dió por latitud  $40^{\circ} 24' 25'',5$ . Si supo-

nemos el aplastamiento del elipsoide terrestre igual á  $\frac{1}{509}$ , tendremos

que un grado de meridiano en la latitud de Madrid equivale á  
111015,8 metros (1); y por consiguiente 391 pies españoles, igual  
á 109 metros, equivale á  $3'',5$  de diferencia en latitud entre las dos

---

(1) Puissant, *Traité de Géodesie*.



estaciones. El promedio de todas las observaciones de esta estrella en la

1.<sup>a</sup> estacion, dan por latitud...  $40^{\circ} 24' 29'',1$

2.<sup>a</sup> estacion.....  $40^{\circ} 24' 25'',5$

Diferencia.....  $3'',6$

Esta diferencia difiere de la hallada por la medicion directa en  $0'',1$ , es decir, en 3 metros. Este resultado dice mas que cuanto yo pudiera añadir acerca de la bondad del instrumento, y la precision con que se hacen las observaciones. En esta diferencia los pequeños errores de la declinacion de la estrella, los que provienen de la flexion del tubo, los de division de los circulos, todo queda eliminado; solo resta el error de puntería y el de lectura, y se ve por la observacion anterior que ese error es completamente nulo.

Es verdad que mis observaciones presentan bastante uniformidad, sobre todo las de una misma estrella; pero basta una ojeada sobre el resumen, para notar inmediatamente que las estrellas al Norte dan todas una latitud mayor que las estrellas colocadas al Sur: debe haber por consiguiente algun error constante que produce estas anomalías. Si paramos algo mas la atencion, vemos que cuanto mayor es su distancia zenital, tanto mayor es la diferencia al promedio. Esto nos induce á creer que hay una pequeña flexion en el tubo del anteojo, producida por la fuerza de la gravedad; y que debemos tratar de corregir las observaciones del pequeño error que en cada una de ellas produce. Bessel elimina esta flexion por observaciones directas y reflejas en el horizonte de mercurio, método por demás sencillo, pero que no puede emplearse con nuestro instrumento, segun hemos dicho anteriormente. Struve elimina la flexion del tubo cambiando el lugar del objetivo por el del ocular, y recíprocamente, método á que tampoco se presta el teodolito. Sawitsch da un procedimiento para hallar la flexion del anteojo, que es el que yo he seguido.

Una flexion en el tubo da una distancia zenital mas pequeña de lo que debería ser; y como en las estrellas situadas al Norte debe



restarse de la declinacion la distancia zenital de la estrella, resulta una latitud demasiado grande; por el contrario, como en las estrellas situadas al Sur, á la declinacion de la estrella con su signo se suma la distancia zenital, se encuentra una latitud demasiado pequeña. Cuando el anteojo esté en la posicion horizontal, la flexion, que llamaremos  $b$ , será máxima; y cuando esté dirigido al zenit, será nula. En todos los demás casos, si llamamos  $z$  el ángulo que forma la direccion del anteojo con la vertical, podrá descomponerse esta fuerza en dos, una en la direccion del anteojo, que se destruye, y la otra en una direccion perpendicular y que tiene todo su efecto, y es igual á  $b \text{ sen. } z$ . De modo que si la distancia zenital medida es  $z$ , la verdadera será  $z + b \text{ sen. } z$ .

Tomemos cuatro estrellas, dos al Norte y dos al Sur; sean  $z_1, z_2, z_3, z_4$  las distancias zenitales medidas,  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$  las declinaciones de las mismas estrellas; las latitudes serán:

$$1.^a \quad \varphi = \delta_1 - (z_1 + b \text{ sen. } z_1)$$

$$2.^a \quad \varphi = \delta_2 + (z_2 + b \text{ sen. } z_2)$$

$$3.^a \quad \varphi = \delta_3 - (z_3 + b \text{ sen. } z_3)$$

$$4.^a \quad \varphi = \delta_4 + (z_4 + b \text{ sen. } z_4)$$

La 1.<sup>a</sup> y 3.<sup>a</sup> corresponden á las estrellas del Norte si se refieren á pasos superiores, y la 2.<sup>a</sup> y 4.<sup>a</sup> á las estrellas del Sur. Las cuatro que nos servirán para esta determinacion serán:  $\alpha$  *Ursæ minoris*,  $\epsilon$  *Cephei*,  $\epsilon$  *Orionis*,  $\alpha$  *Orionis*. Y para no introducir los errores accidentales de observacion, tomaremos un gran número de estas para cada estrella, reduciendo todas las distancias zenitales medidas á una época fija, y como si todas hubiesen sido tomadas en un mismo día: esta época fija supondremos que sea el 1.<sup>o</sup> de agosto de este año; formaremos el cuadro siguiente.



	Distancias zenitales reducidas al 1.º de agosto.	Declinaciones.	Latitudes.	Número de observaciones.
$\alpha$ Ursæ min.	48° 6' 49'',6	+ 88° 31' 20'',8	40° 24' 31'',2	105
$\epsilon$ Orionis...	48 46 50,0	— 8 22 21,1	40 24 28,9	104
$\epsilon$ Cephei. . .	29 30 26,8	+ 69 54 57,3	40 24 30,5	42
$\alpha$ Orionis...	33 1 53,4	+ 7 22 35,8	40 24 29,2	38

Reemplazando por  $z_1, z_2, z_3, z_4, d_1, d_2, d_3, d_4$ , los valores anteriores en las ecuaciones propuestas resulta:

$$\begin{aligned} \varphi &= 88^\circ 31' 20'',8 - (48^\circ 6' 49'',6 + b \operatorname{sen.} (48^\circ 6' 49'',6)) \\ \varphi &= 8^\circ 22' 21'',1 + 48^\circ 46' 50'',0 + b \operatorname{sen.} (48^\circ 46' 50'',0) \\ \varphi &= 69^\circ 54' 57'',3 - (29^\circ 30' 26'',9 - b \operatorname{sen.} (29^\circ 30' 26'',9)) \\ \varphi &= 7^\circ 22' 35'',8 + 33^\circ 1' 53'',4 + b \operatorname{sen.} (33^\circ 1' 53'',4) \end{aligned}$$

Si suponemos  $\varphi = 40^\circ 24' 30'' + d$ , siendo  $d$  la corrección que debe hacerse al valor supuesto para hallar la verdadera latitud, tendremos las cuatro ecuaciones:

$$\begin{aligned} d &= 1'',2 - b \operatorname{sen.} (48^\circ 6' 49'',6) \\ d &= -1'',1 + b \operatorname{sen.} (48^\circ 46' 50'',0) \\ d &= 0'',5 - b \operatorname{sen.} (29^\circ 30' 26'',9) \\ d &= -0'',8 + b \operatorname{sen.} (33^\circ 1' 53'',4) \end{aligned}$$

Si aplicamos á estas ecuaciones el método de los mínimos cuadrados, que consiste en determinar las correcciones de modo que la suma de los cuadrados de todos los errores sea un mínimo, hallaremos por



valor de  $b=1'',5$ . Si corregimos las distancias zenitales de la influencia ocasionada por este valor de  $b$ , hallaremos:

Para $\alpha$ Ursæ minoris.....	$-1'',0$
Para $\delta$ Ursæ minoris.....	$-1'',2$
Para $\delta$ Draconis.....	$-0'',7$
Para $\epsilon$ Cephei.....	$-0'',7$
Para $\epsilon$ Orionis.....	$+1'',1$
Para $\alpha$ Orionis.....	$+0'',8$
Para $\alpha$ Canis majoris.....	$+1'',5$
Para $\alpha$ Canis minoris.....	$+0'',9$

Y el resumen anterior despues de corregido de estos errores se convertirá en el siguiente:

	Número de observa- ciones.	Distancias al promedio.
$\alpha$ Ursæ minoris. .... $40^\circ 24' 30'',1$	278	$-0'',2$
$\delta$ Ursæ minoris. .... $30,5$	18	$-0'',6$
$\delta$ Draconis. .... $29,7$	16	$+0'',2$
$\beta$ Cephei. .... $29,8$	42	$+0'',1$
$\beta$ Orionis. .... $30,2$	170	$-0'',3$
$\alpha$ Orionis. .... $30,0$	38	$-0'',1$
$\alpha$ Canis majoris. .... $28,6$	88	$+1'',5$
$\alpha$ Canis minoris. .... $29,9$	66	$+0'',0$

Promedio de 716 observaciones. .  $40^\circ 24' 29'',9$

Los resultados anteriores son por demás satisfactorios; sin embargo, la latitud deducida de Sirio dista mas del promedio que ninguna de las otras. Dos causas creo que puedan haber influido en ello: 1.<sup>a</sup> un



error mayor en la declinacion de esta estrella, debido sin duda á las anomalías que su movimiento propio ha presentado en el trascurso de este último siglo; 2.<sup>a</sup> un error de observacion, pues á pesar de haber observado siempre esta estrella de dia, se presentaba en el anteojo muy abultada, ondulante y fosca; y todos los observadores saben muy bien la dificultad que por esta causa presenta en su observacion comparada con las demás estrellas.

Por el gran número de observaciones que se han hecho y por la uniformidad que han presentado en sus resultados, creo que la latitud geográfica del lugar de la observacion puede suponerse sin error sensible y dentro del límite de un segundo igual á

40° 24' 29'',9

Reduccion al centro del Ob-

servatorio..... 0'',2

Latitud del centro del Obser-

vatorio..... 40° 24' 29'',7

## V.

Por la descripcion que he dado del instrumento, y por los ejemplos espuestos, se ve que cada dos observaciones en distintas situaciones del círculo vertical dan el doble de la distancia zenital de la estrella, y por lo tanto, nuestro instrumento no es de los llamados repetidores. En Rusia, Alemania é Inglaterra nada añadiría, porque es conocida de todos la ventaja de los nuevos instrumentos sobre los llamados repetidores; pero en España, en donde tan escaso es el número de personas que se dedican á trabajos geográficos, y á donde con tanta dificultad llegan las noticias científicas, á no venir de nuestra vecina la



Francia, me parece conveniente discutir los resultados que se obtienen con los instrumentos no repetidores y con los que lo son, porque si bien es verdad que la invencion de estos últimos hizo un gran servicio á la Astronomía práctica, la esperiencia ha demostrado que hoy dia en vez de ser útiles, *son perjudiciales para la exactitud de las observaciones astronómicas*. No me atreveria yo á sentar una proposicion tan absoluta, por mas que mis observaciones me autorizaran á ello al compararlas con las de hombres célebres, de quienes disto mucho; me fundo en lo que dicen los maestros de la ciencia.

El Sr. Littrow, director del Observatorio de Viena, en su correspondencia con el Baron de Zach en el año de 1821, demostró hasta la evidencia la inferioridad de los círculos repetidores. Dicho Baron habia ya encontrado las anomalías que le marcaba su colega de Viena en el uso de dichos instrumentos.

Bessel, el mas eminente de los astrónomos prácticos, en los trabajos geodésicos de Prusia, nunca usó instrumentos repetidores, y hallaba las latitudes con una precision admirable por medio de observaciones circumzenitales, hechas en el anteojo de pasos situado en la direccion del primer vertical.

Struve, director del Observatorio de Pulkoba, sostuvo contra la opinion de Amici, en la misma correspondencia astronómica del Baron de Zach, la desventaja de los instrumentos repetidores, y que no era dable con tales instrumentos hallar una latitud con menos de dos ó tres segundos de incertidumbre. En los grandes trabajos geodésicos que se han hecho bajo su direccion en Suecia, Noruega y Rusia, al medir el arco del meridiano que une el mar Negro con el Artico, no se han usado ciertamente instrumentos repetidores; todos los que allí se han empleado son círculos meridianos portátiles de Repsold, parecidos al que posee este Observatorio.

Los ingleses en la determinacion de latitudes, emplearon el célebre sector de Ramsden; y sabido es que la série de sus observaciones hechas en Dumkerque son mas uniformes que las que en el mismo punto hicieron MM. Arago y Biot con un círculo repetidor de Lenoir.

El objeto que se propuso Tobías Mayer al inventar el principio de



la repetición de los ángulos, fué atenuar ó casi eliminar los errores de división y el de escentricidad, ambos muy considerables en aquella época, pero hoy día estos errores son insignificantes en los instrumentos contruidos por los buenos artistas, y aunque así no fuera, medios tiene la astronomía de averiguar la ley de los mismos para hacer sus observaciones con un instrumento ideal y matemáticamente exacto. ¿Sucede lo mismo con los círculos repetidores? Ningun astrónomo ha formulado la ley de las muchas anomalías que presentan, contentándose con hacer á la misma altura observaciones al Norte y al Sur, y en la hipótesis de que siendo iguales los errores en las dos posiciones del instrumento, queden por consiguiente eliminados en el promedio. Pero si se observa que en los mejores círculos de Gambey, las diferencias de latitud halladas por estrellas al Sur y al Norte difieren entre sí en 14'', y que este error varia de una manera considerable de una estación á otra, podemos muy bien suponer que cualquiera causa puede influir de modo que estos dos errores al Norte y Sur no sean completamente iguales. Estas anomalías dependen de la poca estabilidad de los círculos llamados limbo y nonio, por los dobles encajes que tienen en su eje, y en este instrumento se supone tácitamente que el círculo limbo está fijo en el movimiento del círculo nonio, lo que no es completamente exacto. Además, en cuestiones de esta naturaleza, la práctica y no la teoría es la que debe decidir; y lo que sí parecerá extraño, es que haya tardado tanto tiempo en propagarse esta opinion cuando se sabe que Troughton, el mas célebre de los artistas ingleses, se negó en 1798 á hacer un círculo repetidor, diciendo: *Que tales instrumentos no eran sino el asilo de los malos artistas*. Estas son sus propias palabras, pero estoy muy lejos de contar en este número á Gambey y Reichembach, cuando sus instrumentos repetidores han alcanzado una justa celebridad; pero sépase que esta celebridad no la deben al principio de la repetición, y sí á la extraordinaria perfección con que estos dos artistas ejecutaron las divisiones, y todas las piezas de sus instrumentos: veamos una prueba de esto.

El Sr. Littrow, que poseia un círculo repetidor de Reichembach, notaba que cuanto mayor era el número de repeticiones, tanto me-



nor era la concordancia que existia entre la posicion del círculo nonio respecto del limbo; es decir, que si en las lecturas de los nonios correspondientes á la primitiva posicion las diferencias eran de  $90^\circ$  exactamente, al fin de las repeticiones diferian entre sí estas lecturas en  $6''$  y  $8''$ ; y esta diferencia era tanto mayor, cuanto mayor era el número de repeticiones. Sospechando la causa de donde provenia esta anomalía, fijó el círculo limbo de una manera invariable al eje del instrumento, y determinó las dobles distancias zenitales con el movimiento del círculo nonio, que es el que estaba unido al antejo; de este modo su instrumento perdió la propiedad de ser repetidor, y se convirtió en uno muy parecido al del Observatorio de Madrid, con la diferencia de que en este último el círculo nonio está reemplazado por los microscopios, que son fijos, y el círculo limbo es el que está unido al antejo; y de este modo el Sr. Littrow no veia las anomalías que notaba al principio. Queda pues demostrado, que la bondad de los instrumentos de Reichembach no es debida al principio de la repeticion, que introduce una nueva causa de error, cuya ley es desconocida, para eliminar el de la division, que tanto en los de este artista como en los de Gambey es despreciable, y en caso de no serlo, pudiera averiguarse el que introduce en las observaciones.

A todo esto se me podrá contestar, que los franceses, que tan buenos trabajos geodésicos han hecho y siguen haciendo, no usan mas que instrumentos repetidores: analicemos los resultados de sus observaciones.

Todo el mundo sabe la amargura con que pasó los últimos años de su vida el justamente célebre Mr. Mechain, y la obstinacion con que se negó siempre á confiar sus borradores ni á su mas fiel amigo, hasta tal punto que en el delirio que le ocasionó su enfermedad, clamaba constantemente por sus cuadernos. La causa se supo despues de su muerte, cuando se vieron varias anomalías en sus observaciones de latitudes, principalmente en la de Barcelona; y como notaba que estas anomalías variaban de una estacion á otra, y no seguian ley ninguna sin embargo de emplear el mismo instrumento y con las mismas precauciones, claro es que lo achacaba á torpeza suya. Esto le



hizo escribir en una ocasion á Bordá: *Qu'il n'était plus capable de rien faire de passable, qu'il en était désespéré* (1).

El Sr. Biot, cuando fué en 1825 á Formentera para rectificar la latitud del extremo austral del arco de meridiano medido á fines del siglo pasado y principios de este, á pesar de cuantas precauciones le sugirió su mucha habilidad y esperiencia, y teniendo en su poder un buen teodolito construido por Gambey, encontró sin embargo diferencias muy notables en las latitudes halladas por medio de estrellas situadas al Norte y al Sur del zenit.

Por un promedio de 70 observaciones al Norte.....	38° 39' 59",0
Por 110 al Sur.....	38° 39' 46",9
Diferencia.....	12",1

El coronel Courabeuf, que tan buena reputacion ha sabido adquirir en los últimos trabajos geodésicos de Francia, no ha sido mas feliz; y las diferencias halladas entre las estrellas al Norte y Sur, llegan en algunas estaciones á 16".

En mis observaciones, la diferencia hallada entre las del Norte y Sur es solamente 2",3. Sin duda este es uno de los principales argumentos contra los instrumentos repetidores. En la comparacion anterior toda la ventaja está de parte de los observadores franceses; luego toda la bondad de mis observaciones, solo es debida á la superioridad que este instrumento tiene sobre los que ellos usaron.

El célebre círculo de Reichembach, que Laplace regaló al Observatorio de París, y con el cual Mr. Arago determinó la latitud de aquel establecimiento, nos suministra aún otra prueba mas de la verdad que vengo demostrando. Con efecto, un trabajo reciente de Mr. Mauvais et Laugier, ha demostrado que aquel célebre establecimiento tenia un error en su latitud de cerca de 2".

Esta imperfeccion de los instrumentos repetidores ha sido por fin

(1) Delambre, *Histoire de l'Astronomie du XVIII siècle.*



reconocida en Francia; y un excelente trabajo de Mr. Faye presentado á la Academia de Ciencias de París lo ha hecho ver palpablemente, por mas que voces muy autorizadas se levantasen en defensa de aquellos.

Mr. Faye, sin embargo, cree hallar otro instrumento mejor que los usados en Alemania: el que él propone es muy ingenioso, y su construccion está encomendada á Mr. Porro. Es un anteojo fuertemente unido á un pilar, y en el cual con el auxilio de un segundo anteojo y de un horizonte de mercurio, se hace que la cruz filar del retículo del primero, coincida exactamente con el zenit del lugar. La cuestion está reducida á medir con un hilo micrométrico la distancia de las pequeñas estrellas que entran dentro del campo del anteojo al zenit del lugar. Aquí no hay graduaciones, no hay flexiones, no hay niveles; la refraccion es nula; de modo que todos los errores están reducidos á los del tornillo micrométrico que sirve para mover el hilo del retículo, y estas imperfecciones pueden estudiarse facilmente. La desventaja de servir-se de pequeñas estrellas cuya posicion no es tan bien conocida como la de las fundamentales, se evitaria dedicándose los Observatorios fijos á determinar con exactitud las que fueran necesarias en cada pais. En estas cuestiones hemos dicho antes que la práctica es la que debe decidir: por consiguiente es necesario esperar que el uso de este instrumento haga ver que los resultados corresponden á la teoría y á las esperanzas de su sábio autor.

Estas ideas que acabo de enunciar, y que por ser de los hombres mas célebres en la astronomía práctica deben ser respetadas, me han movido á llamar la atencion sobre punto tan importante, solo con el deseo de que se tengan en cuenta en nuestro pais.



## VI.

Parece conveniente hacer una reseña de los trabajos que se han hecho para determinar la posición geográfica de la capital de la Monarquía. El primero que ha llegado á mi noticia es el que hizo en 1666 el conde de Sandwich, y que se publicó en las *Philosophical Transactions* de la Sociedad Real de Londres, y por el cual resultaba que la latitud de Madrid era de  $40^{\circ} 10'$ . Prueba manifiesta de la imperfección con que se hacían las observaciones en aquella época.

El primer trabajo que merece el nombre de tal, y que concuerda de una manera extraordinaria con el resultado que yo he obtenido, es el que en 1748 hizo *D. Jorge Juan*, cuyas observaciones son tan apreciadas de todos los astrónomos. Las observaciones originales de este insigne español, creo existen en el ministerio de Marina; yo las he tomado de una memoria de Mr. Lalande, presentada á la Academia de ciencias de París, y que se publicó en las actas de 1777. Las observaciones las hizo en su casa, calle de Preciados, esquina al Postigo de San Martín, con un cuadrante móvil de dos pies de radio, uno de los que sirvieron después para la medición del meridiano en el Perú. Todas las observaciones son de alturas de sol, cuatro del limbo superior y cinco del inferior. Los cálculos de D. Jorge Juan dan para el promedio de estas observaciones:

$$\varphi = 40^{\circ} 25' 6''.$$

Mr. de l'Isle ha rehecho los cálculos con estas mismas observaciones, y encuentra por resultado:

$$\varphi = 40^{\circ} 25' 9''.$$



La diferencia de latitudes entre la estacion de D. Jorge Juan y la mia la he tomado del plano original de la villa, hecho últimamente, y que merece bastante confianza; dicha diferencia es de 39''; de donde resulta la latitud del Observatorio:

Por el cálculo de D. Jorge Juan.  $\varphi=40^{\circ} 24' 27''$

Por el de Mr. de l'Isle. . . . .  $\varphi=40^{\circ} 24' 30''$

Si se considera el corto número de observaciones y el instrumento con que se hicieron, es pasmosa esta exactitud.

En 1788, hallándose el general Tofiño con varios oficiales de la armada en Madrid, recibió orden del rey para que durante su permanencia en la corte, y con el auxilio de los instrumentos que poseian para los trabajos del *Atlas marítimo de España*, se hiciesen observaciones para determinar definitivamente la posicion geográfica de la Capital. El conde de Aranda, que tanto protejió las ciencias, quiso que su casa, situada cerca de la puerta de los Pozos, sirviese de observatorio, como así se verificó. El promedio de muchas observaciones de  $\beta$  y  $\gamma$  Cephei dieron por resultado

	$\varphi=40^{\circ} 30' 8'',2$
Las del Sur.	$\varphi=40^{\circ} 21' 31'',2$
Promedio. . . . .	$40^{\circ} 25' 49'',7$
El Observatorio al Sur.	$1' 3'',0$
Latitud del Observatorio,	$40^{\circ} 24' 46'',7$

Don José Mazarredo, desde 1788 á 1794 tomó mas de 100 alturas meridianas de estrellas en su casa calle del Pez, esquina á la de Jesus del Valle, y el promedio de todas ellas reducido al Observatorio da por latitud

$\varphi=40^{\circ} 24' 54''$ .

Los oficiales de la armada trataron de fijar con toda exactitud la



posicion del Depósito Hidrográfico, situado entonces en la calle de la Ballesta, número 13 antiguo, y obtuvieron:

Por 8 alturas meridianas de Sol  $= 40^{\circ} 25' 26'',5$

Por 5 de  $\alpha$  *Aquilæ*. . . . .  $= 40^{\circ} 25' 20'',0$

Promedio. . . . .  $\varphi = 40^{\circ} 25' 23'',2$

El Observatorio al Sur. . . . .  $49'',0$

Latitud del Observatorio. . . . .  $40^{\circ} 24' 34'',2$

En el nuevo Depósito Hidrográfico, situado en la calle de Alcalá, se han hecho muchas observaciones para determinar su latitud: el promedio de todas ellas da

$\varphi = 40^{\circ} 25' 8'',1$

El Observatorio al Sur. . . . .  $36'',0$

Latitud del Observatorio.  $= 40^{\circ} 24' 52'',1$

D. José Chaix observó en la calle del Turco muchas alturas meridianas de sol y estrellas, y el promedio reducido á la Plaza Mayor da

$\varphi = 40^{\circ} 24' 57'',8$

El Observatorio al Sur. . . . .  $25'',0$

Latitud del Observatorio.  $= 40^{\circ} 24' 52'',8$

Don Joaquin Ferrer observó en la Fontana de Oro, con un sestante de Ramsden y horizonte de mercurio. D. José Sanchez Cerquero ha rectificado los cálculos, y dan los resultados siguientes:



1815, marzo	6	8 observaciones de Sirio. . . . .	40° 24' 55",5
	9	14 observaciones de Sol. . . . .	62",1
	23	2 observaciones de Procion. . . .	74",5
	24	11 observaciones de Sol. . . . .	70",1
Promedio de todas las observaciones al Sur. . . . .			40° 25' 3",8
Reduccion á la fachada boreal. . . . .			+1",0
Latitud. . . . .			40° 25' 4",8
146 observaciones de la polar el 6, 7, 8 y 10			
de abril. . . . .			40° 24' 52",2
Latitud de la Fontana de Oro. . . . .			40° 24' 58",5
El Observatorio al Sur. . . . .			30",0
Latitud del Observatorio segun Ferrer. . . . .			40° 24' 28",5

El Sr. Madoz en su Diccionario Geográfico supone la latitud del Observatorio

$$\varphi = 40^{\circ} 24' 35'',8.$$

No sabemos si este número ha sido deducido de observaciones directas, ó es el promedio de algunas de las ya citadas.

De todas las observaciones que han llegado á mi noticia, resulta ser la mas pequeña la deducida por D. Jorge Juan, =  $40^{\circ} 24' 27''$ ; y la mayor la de D. José Mazarredo, que es  $40^{\circ} 24' 54''$ , cuya diferencia es de  $27''$ .

Suponiendo todas las circunstancias iguales, y tomando el promedio de todas estas observaciones, resultaria:

$$\varphi = 40^{\circ} 24' 35'',7$$

para latitud del Observatorio.



El número de observaciones que se han hecho para determinar la diferencia de longitudes entre París y Madrid, es mas considerable que el de las que se han verificado con objeto de determinar la latitud de este último punto.

Dividiremos estos trabajos en dos épocas, y solo tomaremos el promedio de las observaciones comprendidas en la segunda, ya por referirse á eclipses de sol y ocultaciones de estrellas, ya por conocer la estación desde donde se verificaron las observaciones.

#### PRIMERA ÉPOCA.

- El eclipse de luna que tuvo lugar el 16 de mayo de 1696,  
fué observado en París por Mr. de la Hire, y en Madrid  
por el P. Kresa, jesuita, y dió por diferencia de meri-  
dianos en tiempo. . . . . 23<sup>m</sup>
- En 1699 el mismo P. Kresa, el Duque de Uceda y el Abate  
Scotti observaron el eclipse de luna del 23 de setiem-  
bre. En París hubo observaciones correspondientes he-  
chas por Marraldi y Cassini, y resultó por diferencia  
de meridianos. . . . . 22<sup>m</sup> 42<sup>s</sup>
- El 12 de mayo de 1706 el P. Cassani, jesuita, en Madrid,  
y Cassini hijo, en París, observaron otro eclipse, y resul-  
tó por diferencia entre el meridiano de aquel observa-  
torio y el Colegio Imperial de esta Corte. . . . . 22<sup>m</sup> 40<sup>s</sup>
- Pero este eclipse y el anterior, calculados con esmero por  
Pingré, dieron por diferencia de longitudes. . . . . 25<sup>m</sup> 5<sup>s</sup>
- En 1732 el Duque de Solferino en Madrid y Mr. Godin en  
París observaron el eclipse de luna del 1.º de diciembre,  
y la diferencia de longitudes resultó ser. . . . . 24<sup>m</sup> 20<sup>s</sup>
- El eclipse de sol acaecido el 25 de junio de 1748 fué ob-  
servado en Madrid por D. Jorge Juan y D. Antonio Ulloa,  
y en Greenwich por Bradley. Mechain hizo todos los



cálculos por los métodos mas exactos, y las diferencias de longitudes son las siguientes:

Por la observacion de D. Jorge Juan. . . . . 23<sup>m</sup> 45<sup>s</sup>,2

Por la de D. Antonio Ulloa. . . . . 23<sup>m</sup> 51<sup>s</sup>,5

El mismo D. Jorge Juan observó el eclipse de luna del 8 de agosto de 1748, é hizo varias observaciones de eclipses de satélites de Júpiter: comparadas con las que en París hizo Lacaille y Mr. Chabert, resultó por diferencia de meridianos. . . . . 24<sup>m</sup> 22<sup>s</sup>,

El P. Wenlingen, de la Compañía de Jesus, cosmógrafo mayor de Indias, en su pequeño observatorio del Colegio Imperial, observó en 1750 el eclipse total del 13 de diciembre, y en París le observó Bouguer: la diferencia de longitudes hallada es de. . . . . 24<sup>m</sup> 43<sup>s</sup>,

Otras muchas ocultaciones de satélites de Júpiter observadas por el P. Wenlingen, fueron halladas por Pingré entre los papeles de Mr. de l'Isle; el promedio de todas ellas da por diferencia de longitudes. . . . . 24<sup>m</sup> 16<sup>s</sup>,

En 1788, D. Vicente Tofiño y varios oficiales de la Armada observaron algunas ocultaciones de satélites, y el promedio dió por diferencia de longitudes. . . . . 24<sup>m</sup> 16<sup>s</sup>,

## SEGUNDA ÉPOCA.

La ocultacion de Júpiter por la luna, que tuvo lugar el 28 de junio de 1792, segun los cálculos de Triesnecker da por diferencia de longitudes entre el observatorio de París y la plaza mayor de Madrid. . . . . 24<sup>m</sup> 7<sup>s</sup>,0

1792, 16 de setiembre. Eclipse de sol, segun el mismo astrónomo. . . . . 24<sup>m</sup> 11<sup>s</sup>,0

1792, 31 de octubre. Ocultacion de Aldebaran por la luna, segun el mismo. . . . . 24<sup>m</sup> 5<sup>s</sup>,0



1794. Ocultacion de Aldebaran observada por los individuos del Depósito hidrográfico. . . . .	24 <sup>m</sup> 8 <sup>s</sup> ,5
1799, 7 de mayo. Paso de Mercurio por el disco del sol, segun Ferrer. . . . .	24 <sup>m</sup> 6 <sup>s</sup> ,5
El mismo paso segun Triesnecker. . . . .	24 <sup>m</sup> 5 <sup>s</sup> ,8
Id. id. segun Wurm. . . . .	24 <sup>m</sup> 7 <sup>s</sup> ,8
1801, 24 de mayo. Ocultacion de $\alpha$ Virginis segun Ferrer. . . . .	24 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup> ,8
La misma ocultacion segun Wurm. . . . .	24 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup> ,5
1804, 26 de enero. Eclipse de luna segun Mechain. . . . .	24 <sup>m</sup> 8 <sup>s</sup> ,5
1804. Eclipse de sol segun Sanchez. . . . .	24 <sup>m</sup> 8 <sup>s</sup> ,5
Id. segun Wurm. . . . .	24 <sup>m</sup> 8 <sup>s</sup> ,2
1804. Ocultacion de $\pi$ Scorpii segun Ferrer. . . . .	24 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup> ,7
1805, 17 de junio. Ocultacion de $\delta$ Aquarii segun Monteiro. . . . .	24 <sup>m</sup> 13 <sup>s</sup> ,5
La misma estrella el 7 de setiembre segun el mismo astrónomo. . . . .	24 <sup>m</sup> 7 <sup>s</sup> ,5
1806, 6 de junio. Eclipse de sol segun Ferrer. . . . .	24 <sup>m</sup> 5 <sup>s</sup> ,5
El mismo eclipse segun Wurm. . . . .	24 <sup>m</sup> 5 <sup>s</sup> ,8
1816, 18 de noviembre. Eclipse de sol segun Ferrer y Sanchez. . . . .	24 <sup>m</sup> 7 <sup>s</sup> ,5
1816, 12 de noviembre. Ocultacion de $\gamma$ Leonis, segun Sanchez. . . . .	24 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup> ,2
1817. Ocultacion de la misma estrella el 2 de febrero segun el mismo astrónomo. . . . .	24 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup> ,2
1817. Id. id. el 27 de diciembre, segun el mismo. . . . .	24 <sup>m</sup> 6 <sup>s</sup> ,5
El promedio de todas estas determinaciones, nos da por diferencia de longitudes entre el meridiano del observatorio de París y el que pasa por el centro de la plaza mayor. . . . .	24 <sup>m</sup> 8 <sup>s</sup> ,4
El observatorio al oriente de la plaza mayor. . . . .	4 <sup>s</sup> ,8
El observatorio de París al oriente del de Madrid. . . . .	24 <sup>m</sup> 3 <sup>s</sup> ,6
El observatorio de San Fernando al occidente del de París. . . . .	34 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup> ,0
El observatorio de San Fernando al occidente del de Madrid. . . . .	10 <sup>m</sup> 6 <sup>s</sup> ,4



Por el gran número de observaciones que se han efectuado con objeto de determinar la longitud de Madrid, y por ser tan autorizadas las personas que las han hecho y calculado, se ve que este dato es conocido con bastante aproximación, y serán necesarias muchas observaciones, y el empleo de diferentes métodos, para que haya derecho á alterar este último número.





*Alturas correspondientes, tomadas el 27 de setiembre de 1853.*

GRADUACIONES DEL SESTANTE.	TIEMPO DEL CRONÓMETRO.		SEMISUMA.	PROMEDIOS.	CORRECCION.	TIEMPO DEL CRONÓMETRO A MEDIODIA VERDADERO.	
	MAÑANA.	TARDE.					
51° 0'...	(20 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> 47 <sup>s</sup> ,0	3 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 3 <sup>s</sup> ,0	11 54 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup> ,0	11 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup> ,5	+15,1	11 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup> ,6	45
	19 21,0	30 28,0	54,5				
	20 55,0	28 53,0	54,0				
52° 30'...	(20 22 11,0	3 27 39,0	11 54 55,0	11 54 55,3	+15,0	11 55 10,3	
	23 47,0	26 3,0	55,0				
	25 25,0	24 27,0	56,0				
54° 0'...	(20 26 41,0	3 23 11,0	11 54 56,0	11 54 55,5	+14,9	11 55 10,4	
	28 16,0	21 34,0	55,0				
	29 53,0	19 58,0	55,5				
55° 30'...	(20 31 10,0	3 18 42,0	11 54 56,0	11 54 55,7	+14,7	11 55 10,4	
	32 47,0	17 4,0	55,5				
	34 23,5	15 27,5	55,5				
57° 0'...	(20 35 42,0	3 14 9,0	11 54 55,5	11 54 55,7	+14,5	11 55 10,2	
	37 20,0	12 31,0	55,5				
	38 58,0	10 54,5	56,2				
Promedio de 5 observaciones. ....							11 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup> ,2
Ecuacion de tiempo. ....							9 5,1
Tiempo del cronómetro a mediodia medio. = 12 <sup>h</sup>							4 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup> ,3

Estado del cronómetro el 27 de setiembre a 0<sup>h</sup>. .... 4<sup>m</sup> 15<sup>s</sup>,3



Estado del cronometro el 21 de septiembre de 1903

Tiempo del cronometro y metodos usados

Formacion de tiempo

Formacion de 2 observaciones

Formacion de 3 observaciones

Formacion de 4 observaciones

Formacion de 5 observaciones

Formacion de 6 observaciones

Formacion de 7 observaciones

Formacion de 8 observaciones

Formacion de 9 observaciones

Formacion de 10 observaciones

Formacion de 11 observaciones

Formacion de 12 observaciones

Formacion de 13 observaciones

Formacion de 14 observaciones

Formacion de 15 observaciones

Formacion de 16 observaciones

Formacion de 17 observaciones

Formacion de 18 observaciones

Formacion de 19 observaciones

Formacion de 20 observaciones

Formacion de 21 observaciones

Formacion de 22 observaciones

Formacion de 23 observaciones

Formacion de 24 observaciones

Formacion de 25 observaciones

Formacion de 26 observaciones

Formacion de 27 observaciones

Formacion de 28 observaciones

Formacion de 29 observaciones

Formacion de 30 observaciones



Núm. 1.

DIA 11 de julio de 1853.—Tiempo astronómico.—Distancias zenitales circunmeridianas de  $\alpha$  Ursæ minoris.—Paso superior por el meridiano á las 17<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> 44<sup>s</sup>,8 t m.—Estado del cronómetro, 2<sup>m</sup> 7<sup>s</sup>,6.—Paso en el cronómetro á las 17<sup>h</sup> 47<sup>m</sup> 52<sup>s</sup>,4.—Declinacion=88° 31' 17'',5.—Barómetro=27<sup>p</sup>,922—Termómetro F.=66°.

Posicion del círculo vertical.	Tiempo del cronómetro.	Lectura en el círculo vertical.	Segundos corregidos.	Nivel.		Horarios en tiempo medio.		Horarios en tiempo sidéreo.		Tiempo en arco.	Mitad.	L. sen. $\frac{1}{2}$ t.	
				+	-								
Izquierda. ....	17 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup> ,0	135° 30' 18'',0	21'',7	14,5	11,0	43 <sup>m</sup> 22 <sup>s</sup> ,4	43 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup> ,5	10° 52' 22'',5	5° 26' 11'',2	7,95306		$\varphi = 40^{\circ} 24',5$	
	6 50,0	30 33 ,5	36 ,5	14,0	11,3	41 2,4	41 9,1	10 17 16 ,5	5 8 38 ,2	7,90518		$\delta = 88^{\circ} 31',3$	
Derecha. ....	9 51,5	229° 44' 49 ,0	53 ,5	15,0	10,8	58 0,9	58 7,1	9 31 46 ,5	4 45 53 ,2	7,83882		$Z = 48^{\circ} 6',8$	
	12 4,0	44' 39'',5	44 ,9	15,2	10,2	55 48,4	55 54,3	8 58 34 ,4	4 29 17 ,2	7,78698			
	13 29,5	44 35 ,5	40 ,5	15,0	10,5	54 22,9	54 28,5	8 37 7 ,5	4 18 33 ,7	7,75176		Log. cos... $\varphi = 9,88164$	
	15 2,0	44 31 ,0	36 ,8	15,4	10,0	52 50,4	52 55,8	8 13 57 ,0	4 6 58 ,5	7,71200		Log. cos... $\delta = 8,41164$	
Izquierda. ....	17 36,0	135° 31' 12'',0	17 ,4	15,2	10,2	50 16,4	50 21,4	7 55 21 ,2	3 47 40 ,5	7,64144		Log. const. = 8,29328	
	19 42,0	31' 17'',0	21 ,3	15,0	11,0	28 10,4	28 15,0	7 3 45 ,0	3 31 52 ,5	7,57906		Reduccion de las lecturas al paso de la estrella por el meridiano.	
Lectura del zenit. ....	= 181° 37',8	181° 37',8	181° 37',8	181° 37',8	181° 37',8	181° 37',8	181° 37',8	181° 37',8	181° 37',8	181° 37',8			
Graduaciones. ....	135° 30',4	135° 30',6	229° 44',9	229° 44',7	229° 44',7	229° 44',6	135° 31',3	135° 31',4					
Distancia zenital aparente. =	48° 7',4	48° 7',2	48° 7',1	48° 6',9	48° 6',9	48° 6',8	48° 6',5	48° 6',4					
Refraccion aproximada. =	+ 1'	+ 1'	+ 1'	+ 1'	+ 1'	+ 1'	+ 1'	+ 1'					
Distancia z. ....	48° 8',4	48° 8',2	48° 8',1	48° 7',9	48° 7',9	48° 7',8	48° 7',5	48° 7',4					
Z. ....	48° 6',8	48° 6',8	48° 6',8	48° 6',8	48° 6',8	48° 6',8	48° 6',8	48° 6',8					
$\frac{z+Z}{2}$ .....	96° 15',2	96° 15',0	96° 14',9	96° 14',7	96° 14',7	96° 14',6	96° 14',3	96° 14',2					
	48° 7',6	48° 7',5	48° 7',4	48° 7',3	48° 7',3	48° 7',3	48° 7',1	48° 7',1					
L. constante. ....	= 8,29328	8,29328	8,29328	8,29328	8,29328	8,29328	8,29328	8,29328					
L. sen. $\frac{1}{2}$ t. ....	= 7,95306	7,90518	7,83882	7,78698	7,75176	7,71200	7,64144	7,57906					
C. L. sen. $\frac{Z+z}{2}$ ....	= 0,12807	0,12809	0,12809	0,12809	0,12809	0,12809	0,12811	0,12811					
L. sen. $\frac{1}{2}$ x. ....	= 6,37441	6,32655	6,26019	6,20855	6,17313	6,15337	6,06285	6,00045					
$\frac{1}{2}$ x. ....	= 48'',8	45'',7	37'',6	33'',3	30'',7	28'',0	23'',8	20'',6					
Círculo vertical á la derecha. ....				229° 45'	39'',1								
á la izquierda. ....				135° 32'	2'',6								
Doble distancia zenital aparente. ....				96° 11'	36'',5								
Distancia zenital aparente. ....				48° 5'	48'',2								
Refraccion. ....					+ 58'',0								
Distancia zenital verdadera. ....				48° 6'	46'',2								
Declinacion. ....				$\delta = 88^{\circ} 31'$	17'',5								
Latitud. ....				40° 24'	31'',3								
RESUMEN.....													
												$\left. \begin{array}{l} 229^{\circ}-45'-38'',3 \\ 38 ,3 \\ 38 ,8 \\ 40 ,8 \\ 229-45 \quad 39, 1 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 135^{\circ}-31'59'',3 \\ 32 \quad 3 ,7 \\ 32 \quad 5 ,0 \\ 32 \quad 2 ,5 \\ 32 \quad 2 ,6 \end{array} \right\}$

RESUMEN.....

229°—45'—38'',3	135°—31'59'',5
38 ,3	32 3 ,7
38 ,8	32 5 ,0
40 ,8	32 2 ,5
229—45 39, 1	32 2 ,6





DIA 24 de agosto de 1853.—Tiempo astronómico.—Distancias zenitales circunmeridianas de  $\epsilon$  Orionis.—Paso por el meridiano á las 18<sup>h</sup> 53<sup>m</sup> 38<sup>s</sup>,28 tiempo medio.—Estado del cronómetro 3<sup>m</sup> 8<sup>s</sup>,7.—Paso en el cronómetro á las 18<sup>h</sup> 56<sup>m</sup> 46<sup>s</sup>,98.—Declinacion=8° 22' 17'',78.—Barómetro 27<sup>p</sup>,924.—Termómetro F. 57°.

Posiciones del círculo vertical.	Tiempo del cronómetro.	Lectura en el círculo vertical.	Segundos corregidos.	Nivel.	Horarios en tiempo medio.	Horarios en tiempo sidéreo.	
Derecha.....	18 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 5 <sup>s</sup> ,0	251° 10' 14''	18'',7	24,0 19,5	37 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup> ,98	37 <sup>m</sup> 50 <sup>s</sup> ,18	$L. \cos. \varphi = 9,88164$ $L. \cos. \delta = 9,99534$ $C. L. \sin. z = 0,12368 \dots$ Diferencia por un minuto=0,00011 $L. \frac{\cos. \varphi \cos. \delta}{\sin. z} = 0,00066$
	19 55,0	8' 8''	12 ,3	25,8 19,7	36 51,98	36 58 ,03	
Izquierda.....	21 52,0	152° 12' 27''	21 ,2	19,0 24,5	34 54,98	35 0 ,72	
	22 51,0	14' 40''	33 ,4	18,8 25,0	33 55,98	34 1 ,55	
	23 45,5	16' 40''	33 ,2	18,5 25,0	33 1 ,48	33 6 ,90	
	24 50,0	18' 12''	5 ,2	18,5 25,0	32 16,98	32 22 ,28	
Derecha.....	26 29,0	250° 53' 47''	52 ,8	24,5 19,0	30 17,98	30 22 ,96	
	27 45,0	51' 24''	29 ,8	24,4 19,0	29 3 ,98	29 8 ,75	

Valor aproximado de  $x \dots = 46',8 \quad 44',7 \quad 40',1 \quad 37',8 \quad 35',9 \quad 34',3 \quad 30',2 \quad 27',8$

$L. \frac{2 \sin. \frac{1}{2} t}{\sin. 1''} \dots = 3,44787 \quad 3,42771 \quad 3,38061 \quad 3,35587 \quad 3,33233 \quad 3,31263 \quad 3,25767 \quad 3,22162$

$L. \text{ constante.} \dots = 0,00066 \quad 66 \quad 66 \quad 66 \quad 66 \quad 66 \quad 66 \quad 66$

$L. \text{ aproximado de } x \dots = 3,44853 \quad 3,42837 \quad 3,38127 \quad 3,35653 \quad 3,33299 \quad 3,31329 \quad 3,25853 \quad 3,22228$   
 $\text{Correccion.} \dots = 257 \quad 246 \quad 220 \quad 208 \quad 197 \quad 189 \quad 166 \quad 153$

$L. \text{ verdadero de } x \dots = 3,44596 \quad 3,42591 \quad 3,37907 \quad 3,35445 \quad 3,33102 \quad 3,31140 \quad 3,25667 \quad 3,22075$   
 $x = 46' 32'',3 \quad 44' 26'',4 \quad 39' 53'',7 \quad 37' 41'',8 \quad 35' 45'',0 \quad 34' 8'',3 \quad 30' 5'',8 \quad 27' 42'',5$

251° 10' 18'',7    8' 12'',3    152° 12' 21'',2    14' 53'',4    152° 16' 55'',2    18' 5'',2    250° 53' 52'',8    51' 29'',8  
46' 32'',3    44' 26'',4    39' 53'',7    37' 41'',8    35' 45'',0    34' 8'',3    30' 5'',8    27' 42'',5

250° 23' 46'',4    23' 45'',9    152° 52' 14'',9    52' 15'',2    152° 52' 16'',2    52' 15'',5    23' 47'',0    23' 47'',3  
45 ,9    15'',2    15'',5

92 ,3    30'',1    29'',7    94'',3  
250° 23' 46'',1    152° 52' 15'',0    152° 52' 14'',8    250° 23' 47'',1

Círculo vertical á la derecha..... 250° 23' 46'',1  
izquierda..... 152 52 15 ,0

Doble distancia zenital aparente..... 97° 51' 51'',1  
Distancia zenital aparente..... 48° 45' 45'',5  
Refraccion..... 1' 2'',1

Distancia zenital verdadera..... 48° 46' 47'',6  
Declinacion.....  $\delta = -8^\circ 22' 17'',8$

Latitud..... 40° 24' 29'',8

Círculo vertical á la derecha..... 250° 23' 47'',1  
izquierda..... 152 52 14 ,8

Doble distancia zenital aparente..... 97° 51' 52'',3  
Distancia zenital aparente..... 48° 45' 46'',1  
Refraccion..... 1' 1'',7

Distancia zenital verdadera..... 48° 46' 47'',8  
Declinacion.....  $\delta = -8^\circ 22' 17'',8$

Latitud..... 40° 24' 30'',0

$\varphi = 40^\circ 24' 29'',9$  promedio de 4 observaciones.